

TRƯỜNG ĐẠI HỌC GIAO THÔNG VẬN TẢI THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH



VŨ THÀNH ĐẠT

**NGHIÊN CỨU SỐ CFD VỀ SỬ DỤNG NHIÊN
LIỆU HYDRO TRÊN ĐỘNG CƠ DIESEL 4 KỲ**

ĐỀ ÁN TỐT NGHIỆP THẠC SĨ

Ngành: Kỹ thuật ô tô

Mã số: 8520131

Thành phố Hồ Chí Minh, tháng 01 năm 2025

TRƯỜNG ĐẠI HỌC GIAO THÔNG VẬN TẢI THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH



VŨ THÀNH ĐẠT

**NGHIÊN CỨU SỐ CFD VỀ SỬ DỤNG NHIÊN
LIỆU HYDRO TRÊN ĐỘNG CƠ DIESEL 4 KỲ**

ĐỀ ÁN TỐT NGHIỆP THẠC SĨ

Ngành: Kỹ thuật ô tô

Mã số: 8520131

NGƯỜI HƯỚNG DẪN: TS. PHẠM VĂN CHIẾN

Thành phố Hồ Chí Minh, tháng 01 năm 2025

BỘ GIAO THÔNG VẬN TẢI
TRƯỜNG ĐẠI HỌC GIAO THÔNG VẬN TẢI
THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

Số: 250227-10/QĐ-UTH-SDH

CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM
Độc lập - Tự do - Hạnh phúc

TP. Hồ Chí Minh, ngày 27 tháng 02 năm 2025

QUYẾT ĐỊNH

Về việc thành lập Hội đồng đánh giá đề án tốt nghiệp thạc sĩ

HIỆU TRƯỞNG

TRƯỜNG ĐẠI HỌC GIAO THÔNG VẬN TẢI THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

Căn cứ Quyết định số 66/2001/QĐ-TTg ngày 26/4/2001 của Thủ tướng Chính phủ về việc thành lập Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh;

Căn cứ Quy chế Tổ chức và hoạt động của Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh ban hành theo Nghị quyết số 14/NQ-HĐTĐHGTVT ngày 11/01/2021 của Hội đồng Trường;

Căn cứ Quy chế tuyển sinh và đào tạo trình độ thạc sĩ ban hành kèm theo Quyết định số 33/QĐ-ĐHGTVT ngày 12/01/2022 của Hiệu trưởng Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh;

Căn cứ Quyết định số 240923-01/QĐ-UTH-SDH ngày 23/9/2024 của Hiệu trưởng Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh về việc giao đề tài tốt nghiệp đối với các lớp chương trình đào tạo thạc sĩ;

Theo đề nghị của Viện trưởng Viện Đào tạo sau đại học.

QUYẾT ĐỊNH:

Điều 1. Thành lập Hội đồng đánh giá đề án tốt nghiệp thạc sĩ ngành Kỹ thuật ô tô (mã số 8520130) đối với học viên **Vũ Thành Đạt** với đề tài: “Nghiên cứu số CFD về ứng dụng nhiên liệu hydro trên động cơ diesel 4 kỳ”, người hướng dẫn: TS. Phạm Văn Chiến, gồm các ông (bà) có tên sau:

1. TS. Lê Văn Vang	Trường ĐH GTVT TP. HCM	Chủ tịch Hội đồng;
2. PGS.TS. Đoàn Văn Đồng	Trường ĐH GTVT TP. HCM	Ủy viên, phản biện;
3. TS. Nguyễn Thành Sa	Trường ĐH GTVT TP. HCM	Ủy viên, phản biện;
4. TS. Đinh Gia Huy	Trường ĐH GTVT TP. HCM	Ủy viên;
5. TS. Đỗ Việt Dũng	Trường ĐH GTVT TP. HCM	Ủy viên, thư ký.

Điều 2. Quyết định có hiệu lực kể từ ngày ký. Các ông (bà) Viện trưởng Viện Đào tạo sau đại học, Trưởng phòng Kế hoạch - Tài vụ và ông (bà) có tên tại Điều 1 chịu trách nhiệm thi hành Quyết định này./.

Nơi nhận:

- Như Điều 2;
- Hiệu trưởng (để b/c);
- Lưu: VT, VĐTSDH (Tú: 05b).

KT. HIỆU TRƯỞNG
PHÓ HIỆU TRƯỞNG
TRƯỜNG
ĐẠI HỌC
GIAO THÔNG VẬN
TẢI
THÀNH PHỐ
HỒ CHÍ MINH
NGUYỄN TS. Lê Văn Vang

ĐỀ ÁN TỐT NGHIỆP THẠC SĨ ĐƯỢC HOÀN THÀNH TẠI**TRƯỜNG ĐẠI HỌC GIAO THÔNG VẬN TẢI THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH**

Đại diện người hướng dẫn: TS. Phạm Văn Chiến 

Đề án tốt nghiệp thạc sĩ được bảo vệ tại Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh ngày ... 07... tháng ... 03... năm ... 2025 ...

Thành phần Hội đồng đánh giá đề án tốt nghiệp thạc sĩ gồm:

- | | |
|--------------------------|---------------------|
| 1. TS. Lê Văn Vang | Chủ tịch Hội đồng; |
| 2. PGS.TS. Đoàn Văn Đồng | Ủy viên, phản biện; |
| 3. TS. Nguyễn Thành Sa | Ủy viên, phản biện; |
| 4. TS. Đinh Gia Huy | Ủy viên; |
| 5. TS. Đỗ Việt Dũng | Ủy viên, thư ký. |

CHỦ TỊCH HỘI ĐỒNG

NGƯỜI.TS. Lê Văn Vang

LỜI CAM ĐOAN

Tôi cam đoan:

Đề án tốt nghiệp: Nghiên cứu số CFD về sử dụng nhiên liệu Hydro trên động cơ diesel 4 kỳ

1. Là công trình nghiên cứu của bản thân tôi được đúc kết từ quá trình học tập và nghiên cứu dưới sự hướng dẫn của TS. PHẠM VĂN CHIẾN

2. Số liệu và kết quả trong đề án tốt nghiệp nghiên cứu là trung thực và chưa được công bố trong bất kỳ công trình nào khác.

Tôi cũng xin cam đoan rằng mọi sự giúp đỡ cho việc thực hiện đề án tốt nghiệp này đã được cảm ơn và các thông tin trích dẫn trong đề án tốt nghiệp đã được chỉ rõ nguồn gốc...

Tôi xin chịu hoàn toàn trách nhiệm về nghiên cứu của mình.

Thành phố Hồ Chí Minh, tháng 12 năm 2024

Học viên thực hiện

Đạt

Vũ Thành Đạt

LỜI CẢM ƠN

Đề án tốt nghiệp thạc sĩ “Nghiên cứu số CFD về sử dụng nhiên liệu Hydro trên động cơ diesel 4 kỳ” là một công trình quan trọng đòi hỏi sự nỗ lực lớn của tôi, và được sự giúp đỡ tận tình, động viên, khích lệ đến từ nhiều cá nhân, đoàn thể.

Trước hết, tôi xin gửi lời cảm ơn chân thành đến Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh, các Quý Thầy Cô đã giúp tôi trang bị tri thức, tạo môi trường điều kiện thuận lợi nhất trong suốt quá trình học tập và thực hiện Đề án.

Với sự kính trọng sâu sắc, tôi xin được bày tỏ lời cảm ơn tới TS. Phạm Văn Chiến đã giúp đỡ, chỉ dẫn tận tình cho tôi trong suốt thời gian thực hiện đề án tốt nghiệp này. Xin cảm ơn lãnh đạo, ban cán bộ Viện sau đại học, Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh, đã giúp đỡ chia sẻ thông tin, cung cấp cho tôi nhiều nguồn tư liệu, tài liệu hữu ích phục vụ cho đề tài đề án tốt nghiệp này.

Tôi cũng xin gửi lời tri ân sâu sắc đến gia đình, đồng nghiệp và bạn bè đã động viên, hỗ trợ, giúp đỡ tôi trong suốt quá trình học tập, làm việc và hoàn thành đề án tốt nghiệp.

Tôi xin chân thành cảm ơn!

Thành phố Hồ Chí Minh, tháng 12 năm 2024

Học viên thực hiện

Đạt

Vũ Thành Đạt

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN	i
LỜI CẢM ƠN	iv
MỤC LỤC	v
DANH MỤC HÌNH.....	vii
DANH MỤC BẢNG	ix
MỞ ĐẦU	1
Chương 1. TỔNG QUAN	4
1.1. Các quy định về giảm phát thải khí xả động cơ	4
1.2. Tác hại của khí thải	8
1.3. Các giải pháp giảm phát thải khí xả	9
1.4. Nhiên liệu thay thế	10
TÓM TẮT CHƯƠNG 1	14
CHƯƠNG 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT	15
2.1. Động cơ đốt trong	15
2.1.1. Khái niệm	15
2.1.2. Phân loại	15
2.1.3. Những thông số cơ bản của động cơ	16
2.2. Nguyên lý làm việc của động cơ diesel 4 kỳ	16
2.3. Sơ đồ hệ thống cung cấp nhiên liệu cho động cơ diesel 4 kỳ	17
2.3.1. Nhiệm vụ chính của hệ thống nhiên liệu diesel	17
2.3.2. Cấu tạo và nguyên lý làm việc của hệ thống nhiên liệu diesel	18
2.4. Lý thuyết mô phỏng động cơ bằng phương pháp CFD.	20
2.4.1 Các bước cơ bản trong mô phỏng CFD.....	20
2.4.2. Các mô hình và lý thuyết chính trong CFD cho động cơ.....	20
2.5. Tổng quát về phần mềm mô phỏng AVL FIRE.....	24
TÓM TẮT CHƯƠNG 2	25
Chương 3. MÔ PHỎNG SỐ CFD QUÁ TRÌNH CHÁY CỦA ĐỘNG CƠ DIESEL 4 KỲ ..	26
3.1. Giới thiệu và các thông số kỹ thuật của động cơ	26
3.1.1. Giới thiệu.....	26

3.1.2. Thông số kỹ thuật chi tiết	26
3.1.3. Kết cấu động cơ	27
3.1.4. Đặc điểm nổi bật	29
3.2. Mô phỏng quá trình cháy của động cơ	30
3.2.1. Chia lưới	32
3.2.2. Xác định điều kiện biên và điều kiện ban đầu	34
3.2.3. Thiết lập mô hình vật lí	35
3.2.4. Chạy mô phỏng	36
3.3. Kết quả mô phỏng	37
TÓM TẮT CHƯƠNG 3	43
Chương 4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ	44
4.1 Kết luận	44
4.2 Kiến nghị	46
KẾT LUẬN TOÀN BỘ ĐỀ ÁN TỐT NGHIỆP	Error! Bookmark not defined.
TÀI LIỆU THAM KHẢO	49

DANH MỤC HÌNH

Hình 1.1: Biểu đồ mức tiêu chuẩn cho phép nồng độ CO ở một số quốc gia [1].	8
Hình 1.2: Mức tiêu chuẩn cho phép độ khói [2]	9
Hình 2.1: Các hành trình làm việc của động cơ diesel 4 kỳ	16
Hình 2.2: sơ đồ P-V (áp suất - thể tích) của động cơ diesel 4 kỳ	17
Hình 2.3 [3]: Hệ thống diesel có nhiệm vụ cung cấp lượng nhiên liệu cần thiết vào động cơ	18
Hình 2.4: Sơ đồ hệ thống nhiên liệu của động cơ diesel.....	19
Hình 3.1: Động cơ MAN B&W 6H35DF	26
Hình 3.2: Hệ thống làm mát bằng nước biển	28
Hình 3.3: Hệ thống xả khí và kiểm soát phát thải (EGR)	29
Hình 3.4 [4]: Sơ đồ nguyên tắc của động cơ mô phỏng.	30
Hình 3.5 [4]: Hình học 3D cắt một phần tư của piston và vòi phun nhiên liệu thí điểm.	31
Hình 3.6 Các thông số của piston.....	31
Hình 3.7: Các thông số chia lưới.....	33
Hình 3.8: Một nửa hình học buồng đốt đối xứng.....	34
Hình 3.9: Một phần mười hai của toàn bộ lưới tính toán 3D của buồng đốt tại TDC	34
Hình 3.10: Thiết lập quá trình mô phỏng cho diesel.....	36
Hình 3.11: Thiết lập quá trình mô phỏng cho hydrogen.....	36
Hình 3.12: Áp suất trong xi lanh	37
Hình 3.13: nhiệt trong xi lanh	38
Hình 3.14: Tốc độ giải phóng nhiệt	39
Hình 3.15: Phát thải NO	40
Hình 3.16: Phát thải CO	41
Hình 3.17: Phát thải muội than	42

DANH MỤC VIẾT TẮT

TT	TỪ VIẾT TẮT	GIẢI NGHĨA
1	CFD	Computational Fluid Dynamics
1	MeTHF	methylnetrahydrofuran
2	ĐCT	Điểm chết trên
3	ĐCD	Điểm chết dưới
4	PM	Particulates Matter
5	PAH	polynuclear aromatic hydrocarbon
6	OBD (OnBoard Diagnostics)	OnBoard Diagnostics

DANH MỤC BẢNG

Bảng 3.1: Thông số kỹ thuật của động cơ mô phỏng	32
Bảng 3.2: Điều kiện biên và điều kiện ban đầu cho các trường hợp mô phỏng số	35
Bảng 3.3: Các đặc tính cơ bản của nhiên liệu Diesel và Hydro	35

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

Động cơ đốt trong trên các phương tiện giao thông hiện nay chủ yếu sử dụng các loại nhiên liệu hóa thạch truyền thống sản xuất từ dầu mỏ. Khí thải được xả từ động cơ các loại phương tiện này là nguồn ô nhiễm chủ yếu và nghiêm trọng cho môi trường không khí, dẫn đến hiện tượng ấm lên toàn cầu và biến đổi khí hậu làm đe dọa nghiêm trọng đến môi trường Trái đất cùng sự sống của nhân loại. Ngày nay, với sự tiến bộ của khoa học kỹ thuật, quá trình làm việc của động cơ đốt trong đã được điện tử hoá, số hoá để tạo ra những thành công đáng kể trong việc cải thiện công suất động cơ, nâng cao hiệu suất, tiết kiệm nhiên liệu và giảm thiểu ô nhiễm môi trường. Tuy nhiên, những giải pháp nêu trên vẫn chưa đáp ứng các tiêu chuẩn về ô nhiễm môi trường áp đặt lên khí thải động cơ đang ngày càng khắt khe hơn của một số quốc gia trên thế giới, trong số đó có Việt Nam. Trong khía cạnh khác, nguồn nhiên liệu hóa thạch truyền thống (xăng và diesel) đang ngày dần cạn kiệt. Dự báo không lâu nữa nguồn nhiên liệu hiện nay cho động cơ sẽ bị thiếu hụt trầm trọng.

Vì vậy, bài toán đặt ra cho các nhà sản xuất động cơ nói riêng và ngành cơ khí động lực nói chung là tìm ra các giải pháp hữu hiệu để cắt giảm phát thải khí thải từ động cơ, nhằm đáp ứng được với các quy định nghiêm ngặt về ô nhiễm môi trường từ các phương tiện giao thông. Một trong những giải pháp đó là sử dụng các nguồn nhiên liệu sạch ít gây ô nhiễm có thể thay thế và bù đắp sự thiếu hụt cho các loại nhiên liệu truyền thống. Trong số các loại nhiên liệu thay thế đang được nghiên cứu thì hydro nổi lên như là một trong số các loại nhiên liệu hứa hẹn nhất do đặc tính không chứa carbon của nó. Vì không chứa carbon nên khi cháy, hydro chỉ tạo ra hơi nước, không gây ô nhiễm cho môi trường không khí, đất và nước trên trái đất.

2. Mục đích nghiên cứu của đề tài

Nhận thấy mức độ cấp thiết và ý nghĩa thực tiễn rất lớn trong việc sử dụng nhiên liệu hydro để thay thế cho dầu diesel trên động cơ đốt trong, học viên đã lựa chọn đề tài “Nghiên cứu số CFD về sử dụng nhiên liệu Hydro trên động cơ diesel 4 kỳ” làm đề án tốt nghiệp thạc sĩ. Đề tài này sẽ là cơ sở khoa học hữu ích cho việc từng bước đưa nhiên liệu hydro vào ứng dụng trên động cơ diesel hiện tại.

3. Phạm vi và đối tượng nghiên cứu

3.1 Đối tượng nghiên cứu

Động cơ diesel 4 kỳ.

3.2 Phạm nghiên cứu

+ Phạm vi nội dung: Mô phỏng quá trình cháy và phát thải của động cơ.

+ Phạm vi không gian: Mô phỏng động cơ bằng phần mềm máy tính.

+ Phạm vi thời gian: từ 08/2024 đến 01/2025 (6 tháng).

4. Phương pháp nghiên cứu

Mô phỏng số CFD.

5. Cơ sở khoa học và ý nghĩa thực tiễn của đề án tốt nghiệp

Nghiên cứu này sẽ là cơ sở khoa học cho việc áp dụng khí hydro trên các động cơ diesel hiện có nhằm cắt giảm phát thải CO₂, góp phần đạt được mục tiêu net zero CO₂ của Quốc gia.

6. Nội dung dự kiến của đề án tốt nghiệp

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN

- 1.1. Các quy định về giảm phát thải khí xả động cơ
- 1.2. Các giải pháp giảm phát thải khí xả
- 1.3. Nhiên liệu thay thế
- 1.4. Nhiên liệu khí Hydro

TÓM TẮT CHƯƠNG 1

CHƯƠNG 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

- 2.1. Động cơ đốt trong
- 2.2. Nguyên lý làm việc của động cơ diesel 4 kỳ
- 2.3. Quá trình cháy trong động cơ diesel 4
- 2.4. Lý thuyết mô phỏng động cơ bằng phương pháp CFD

TÓM TẮT CHƯƠNG 2

CHƯƠNG 3. MÔ PHỎNG SỐ CFD QUÁ TRÌNH CHÁY CỦA ĐỘNG CƠ DIESEL 4 KỲ

- 3.1. Giới thiệu và các thông số kỹ thuật của động cơ
- 3.2. Mô phỏng quá trình cháy của động cơ
- 3.3. Kết quả mô phỏng

TÓM TẮT CHƯƠNG 3

CHƯƠNG 4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

4.1 Kết luận

4.2 Kiến nghị

KẾT LUẬN TOÀN BỘ ĐỀ ÁN TỐT NGHIỆP

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN

1.5. Các quy định về giảm phát thải khí xả động cơ

Tiêu chuẩn khí thải là các yêu cầu pháp lý quản lý các chất ô nhiễm không khí thải vào khí quyển. Tiêu chuẩn phát thải đặt ra các giới hạn định lượng về lượng cho phép của các chất gây ô nhiễm không khí cụ thể có thể được thải ra từ các nguồn cụ thể trong các khung thời gian cụ thể. Chúng thường được thiết kế để đạt các tiêu chuẩn chất lượng không khí tốt hơn và để bảo vệ cuộc sống của con người [1].

Phần lớn có ba bộ tiêu chuẩn khí thải hiện hành: Hoa Kỳ, Nhật Bản và Châu Âu, với các thị trường khác nhau hầu hết sử dụng các tiêu chuẩn này làm cơ sở. Một số quốc gia trên thế giới như Thụy Điển, Thụy Sĩ và Úc đã có các tiêu chuẩn khí thải riêng biệt trong nhiều năm nhưng sau đã áp dụng các tiêu chuẩn châu Âu. Vài năm gần đây, Trung Quốc, Ấn Độ và các thị trường mới cũng đã bắt đầu thực thi các tiêu chuẩn khí thải xe của riêng họ [1].

Tiêu chuẩn hiệu suất khí thải về cơ bản là một giới hạn đặt ra ngưỡng trên đó có thể cần một loại công nghệ kiểm soát khí thải phương tiện khác. Các tiêu chuẩn này được sử dụng để đưa ra các giới hạn đối với các chất ô nhiễm như oxit nito và oxit lưu huỳnh (NO_x và SO_x), Hydrocacbon (HC), Vật chất dạng hạt (PM) cũng như để điều chỉnh khí nhà kính, đặc biệt là khí cacbonic (CO_2) [1].

Các tiêu chuẩn này được thiết lập khác nhau tùy thuộc vào loại nhiên liệu và cách sử dụng của xe. Ví dụ, tiêu chuẩn xe chạy xăng và xe chạy bằng dầu diesel được định nghĩa khác nhau. Tương tự, các tiêu chuẩn khác nhau với xe chở khách, xe thương mại và xe buýt lớn, vv Tuy nhiên, trong mỗi trường hợp, các tiêu chuẩn này được cập nhật sau một khoảng thời gian định kỳ và các nhà sản xuất ô tô phải tuân thủ theo để sản xuất các loại xe đáp ứng các quy định này. Những phương tiện đó nếu không thể đáp ứng yêu cầu này thì đơn giản là không được phép bán tại các thị trường có các tiêu chuẩn này được thực thi [1].

Euro 1

Đã được phê duyệt: ngày 1 tháng 7 năm 1992

Ngày thực hiện: ngày 31 tháng 12 năm 1992 [2]

Các tiêu chuẩn khí thải đầu tiên trên toàn châu Âu được đưa vào tháng 7 năm 1992. Việc trang bị bộ chuyển đổi xúc tác bắt buộc trên tất cả các xe ô tô mới và Euro 1 yêu cầu chuyển sang sử dụng xăng không chì. Thời gian đó, chỉ có hydrocacbon và nito

oxit được thử nghiệm, cùng với các loại chất dạng hạt trong trường hợp động cơ diesel. Trong những năm qua, các quy định ngày càng trở nên nghiêm ngặt hơn và các giới hạn được hạ xuống. [1]

Tiêu chuẩn khí thải Euro I (xăng)

CO: 2,72g / km

HC + NOx: 0,97g / km

Tiêu chuẩn khí thải Euro I (động cơ diesel)

CO: 2,72g / km

HC + NOx: 0,97g / km

PM: 0,14g / km [1]

Euro 2

Đã được phê duyệt: Ngày 1 tháng 1 năm 1996

Ngày thực hiện: Ngày 1 tháng 1 năm 1997

Euro II đã giảm lượng giới hạn đối với carbon monoxide và giới hạn kết hợp với hydrocacbon và nitơ oxit chưa cháy, cũng như đưa ra các mức khác nhau dành cho động cơ xăng và diesel. [1]

Tiêu chuẩn khí thải Euro II (xăng)

CO: 2,2g / km

HC + NOx: 0,5g / km

Tiêu chuẩn khí thải Euro II (động cơ diesel)

CO: 1,0g / km

HC + NOx: 0,7g / km

PM: 0,08g / km [1]

Euro 3

Đã được phê duyệt: Ngày 1 tháng 1 năm 2000

Ngày thực hiện: Ngày 1 tháng 1 năm 2001

Euro III tách giới hạn hydrocacbon và nitơ oxit cho động cơ xăng và động cơ diesel, cũng như bổ sung thêm giới hạn oxit nitơ riêng cho xe chạy bằng dầu diesel. Ngoài ra, giai đoạn khởi động được loại bỏ khỏi quy trình thử nghiệm.

Tiêu chuẩn khí thải Euro III (xăng)

CO: 2,3g / km

THC: 0,20g / km

NOx: 0,15g / km

Tiêu chuẩn khí thải Euro III (động cơ diesel)

CO: 0,66g / km

HC + NOx: 0,56g / km

NOx: 0,50g / km

PM: 0,05g / km

Euro 4

Đã được phê duyệt: Ngày 1 tháng 1 năm 2005

Ngày thực hiện: Ngày 1 tháng 1 năm 2006

Tiêu chuẩn Euro IV chứng kiến các quy định về hạt và khí thải đã trở nên nghiêm ngặt hơn trước [1].

Tiêu chuẩn khí thải Euro IV (xăng)

CO: 1,0g / km

THC: 0,10g / km

NOx: 0,08g / km

Tiêu chuẩn khí thải Euro IV (động cơ diesel)

CO: 0,50g / km

HC + NOx: 0,30g / km

NOx: 0,25g / km

PM: 0,025g / km

Euro 5

Được phê duyệt: ngày 1 tháng 9 năm 2009

Ngày thực hiện: Ngày 1 tháng 1 năm 2011

Khía cạnh quan trọng của Euro V là sự ra đời các bộ lọc hạt (DPF) dành cho xe chạy bằng dầu diesel, cùng với các giới hạn thấp hơn trên diện rộng. DPFs thu giữ 99% tất cả các vật chất dạng hạt và đã được trang bị cho mọi ô tô chạy dầu mới. Ô tô đạt tiêu chuẩn Euro V khí thải ra tương đương với một hạt cát trên mỗi km lái xe [1].

Tiêu chuẩn khí thải Euro V (xăng)

CO: 1,0g / kmE

THC: 0,10g / km

NMHC: 0,068g / km NOx: 0,06g / km

PM: 0,005g / km (chỉ phun trực tiếp)

Tiêu chuẩn khí thải Euro V (động cơ diesel)

CO: 0,50g / km

HC + NOx: 0,23g / km

NOx: 0,18g / km

PM: 0,005g / km

PN [# / km]: $6,0 \times 10^{11}$ / km

Phương pháp thay thế này đáp ứng tiêu chuẩn Euro 4, Euro 5, Euro 6 là Tuần hoàn khí thải (EGR). Một phần khí thải được trộn cùng khí nạp để hạ nhiệt độ cháy. ECU của xe điều khiển EGR phù hợp với tải hoặc tốc độ của động cơ [1].

Các động cơ ô tô con, xe tải, xe tải trọng lớn đang được áp dụng.

Euro 6

Đã được phê duyệt: ngày 1 tháng 9 năm 2014

Ngày thực hiện: ngày 1 tháng 9 năm 2015

Tiêu chuẩn khí thải Euro hiện hành và thứ 6 được áp dụng trên hầu hết các đăng ký mới tháng 9 năm 2015. Đối với động cơ diesel, mức NOx cho phép giảm từ 0,18g / km theo Euro 5 xuống còn 0,08g / km. Tập trung vào NOx diesel là kết quả trực tiếp của nghiên cứu kết nối những khí thải này với vấn đề về hô hấp.

Để đáp ứng mục tiêu mới, một số nhà sản xuất ô tô giới thiệu tính năng giảm xúc tác có chọn lọc (SCR), trong đó tác nhân khử chất lỏng được bơm qua chất xúc tác vào khí thải của xe động cơ diesel. Một phản ứng hóa học chuyển nitơ oxit thành nước và nitơ vô hại, chúng được thải ra ngoài qua đường ống xả [1].

Tiêu chuẩn khí thải Euro VI (xăng)

CO: 1,0g / km

THC: 0,10g / km

NMHC: 0,068g / km

NOx: 0,06g / km

PM: 0,005g / km (chỉ phun trực tiếp)

PN [# / km]: $6,0 \times 10^{11}$ / km (chỉ phun trực tiếp)

Tiêu chuẩn khí thải Euro VI (động cơ diesel)

CO: 0,50g / km

HC + NOx: 0,17g / km

NO_x: 0,08g / km

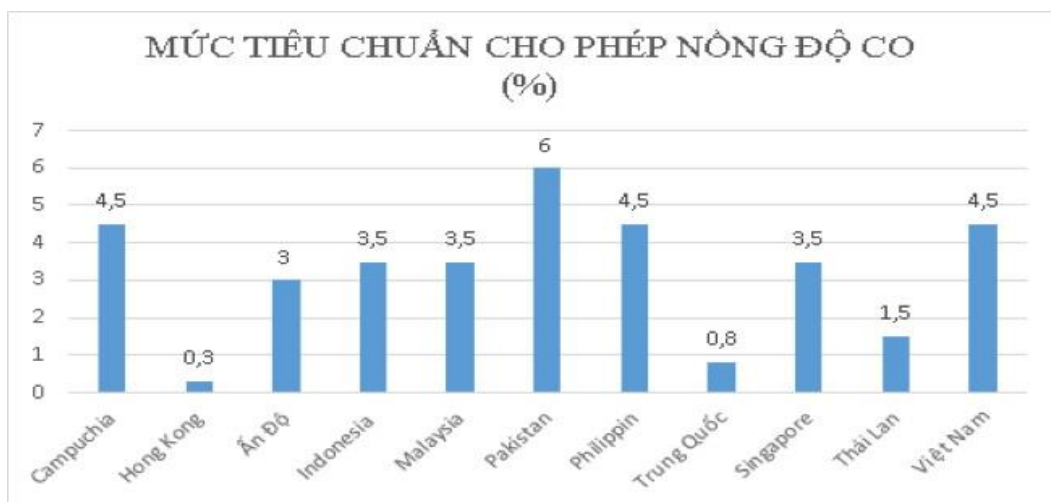
PM: 0,005g / km

PN [# / km]: $6,0 \times 10^{11}$ / km

Tiêu chuẩn khí thải ô tô hiện nay tại Việt Nam

Tại Việt Nam, tiêu chuẩn khí thải mức 4 ứng với tiêu chuẩn khí thải Euro 4 được áp chính thức dụng từ ngày 1-1-2018 theo Quyết định 49/2011/QĐ-TTg của Thủ tướng Chính phủ ban hành về lộ trình áp dụng các tiêu chuẩn khí thải với ô tô, xe mô tô hai bánh có lắp động cơ nhiệt sản xuất, lắp ráp và nhập khẩu mới. Theo quyết định này kể từ ngày 1-1-2017 các loại xe ô tô sản xuất, lắp ráp và nhập khẩu mới phải được áp dụng tiêu chuẩn khí thải mức 4 [1]. Tuy nhiên, do nguồn nguyên liệu chưa đủ đáp ứng tiêu chuẩn theo lộ trình, bộ Giao thông vận tải đã lùi thời gian áp dụng đến ngày 1-1-2018.

Cũng theo Quyết định số 49/2011 của Thủ tướng, từ ngày 1-1-2022, các loại xe ô tô lắp ráp, sản xuất trong nước và nhập khẩu mới phải đạt tiêu chuẩn về phép thử, giới hạn chất gây ô nhiễm có trong khí thải mức 5. Theo số liệu mới đây của ĐH Quốc gia TP. HCM, xe máy, ô tô chiếm 18% nguồn phát thải bụi PM_{2.5}, tiếp theo là phanh xe các loại và ma sát mặt đường (14%), hộ gia đình (14%), dệt may (13%)... Tác hại của bụi mịn chứa các thành phần nguy hiểm như kim loại nặng và chì gây hen suyễn, các vấn đề về tim mạch và nhiều loại bệnh tật khác khi đi thâm nhập sâu vào hệ hô hấp. Nếu hít phải bụi mịn với nồng độ cao trong thời gian dài, sức khỏe con người sẽ càng bị đe dọa nghiêm trọng hơn. Tổ chức Y tế Thế giới (WHO) xếp bụi mịn vào tác nhân gây ung thư nhóm 1, đặc biệt nguy hiểm cho người già và trẻ em do sức đề kháng còn kém [1].



Hình 1.1: Biểu đồ mức tiêu chuẩn cho phép nồng độ CO ở một số quốc gia [1]

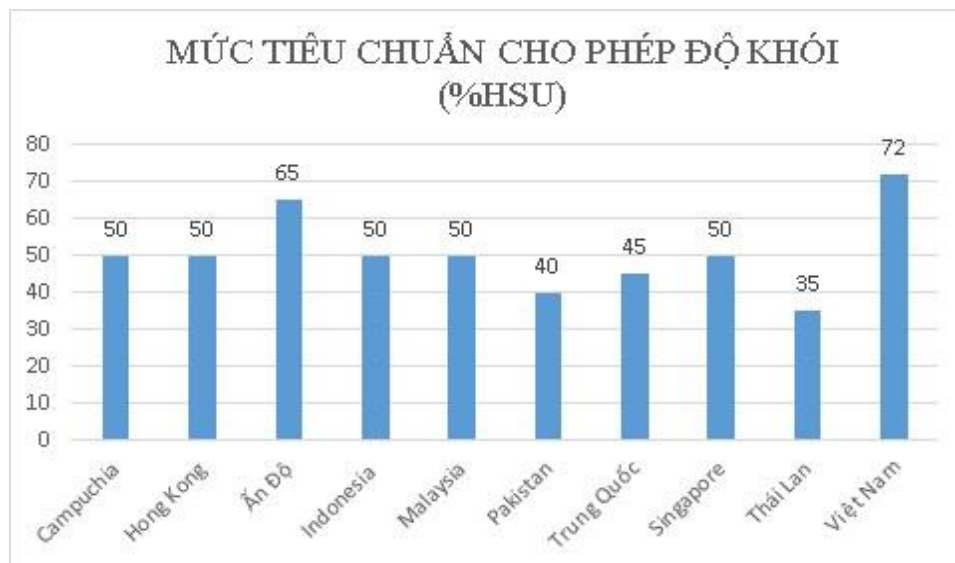
1.6. Tác hại của khí thải

Trong quá trình hoạt động, động cơ đốt trong phát thải ra các chất như CO, CO₂, NO_x, HC, Pb, CFC và các hợp chất của lưu huỳnh. Hiện nay, không chỉ ở nước ta mà trên thế giới đã cấm sử dụng các loại xăng có pha chì (một chất phụ gia làm tăng chỉ số octan có tính độc tố cao). Ngoài việc gây ô nhiễm trực tiếp, các chất thải này khi phát tán vào không khí sẽ bị phân tích hoặc tổng hợp tạo ra các hợp chất khác nhau có thể dẫn đến ung thư cho con người và làm thay đổi môi trường sinh thái, khí hậu [2].

Để đánh giá mức độ ảnh hưởng của từng loại thành phần khí thải, người ta chia làm 2 nhóm gồm:

Một là, các chất gây ô nhiễm thông thường: Bao gồm HC, CO, NO_x, chất thải dạng hạt-PM (Particulates Matter). Trong một số trường hợp thì CO₂ cũng được đưa vào nhóm này vì nó là khí hình thành dưới tác động của hiệu ứng nhà kính [2].

Hai là, các chất gây ô nhiễm đặc trưng: Mặc dù các chất này chiếm tỷ lệ khá nhỏ trong khí phát thải nhưng chúng có thể là các tiền chất gây ung thư hoặc biến đổi gen. Tại các nước phát triển, người ta còn quan tâm nhiều đến các thành phần khác có trong khí thải như andehit, hydrocarbon thơm nhiều nhân - PAH (polynuclear aromatic hydrocarbon) và một số hợp chất độc hại khác như (buta-1,3-diene; formaldehyde...).



Hình 1.2: Mức tiêu chuẩn cho phép độ khối [2]

1.7. Các giải pháp giảm phát thải khí xả

Các giải pháp giảm ô nhiễm khí thải có thể chia thành 4 nhóm chính.

Nhóm thứ nhất: Tổ chức tốt quá trình cháy nhằm giảm ô nhiễm do các chất NO_x, CO, HC ngay tại nguồn (trong xy-lanh). Nhóm này bao gồm các biện pháp liên quan đến việc tối ưu hóa kết cấu của các chi tiết, cụm chi tiết và hệ thống có ảnh hưởng đến quá

trình cháy: Thiết kế đỉnh pít-tông và nắp máy tạo hiệu ứng lốc xoáy, tăng khả năng hòa trộn nhiên liệu và không khí tốt hơn, quá trình cháy diễn ra nhanh hơn, thường áp dụng cho động cơ diesel và phun xăng trực tiếp; sử dụng hệ thống tăng áp, tăng đường kính xu-páp, giảm tổn thất trên đường nạp để tăng hiệu suất nạp; tính toán thiết kế thời điểm mở sớm xu-páp thải một cách tối ưu; sử dụng các hệ thống phun nhiên liệu điều khiển điện tử, tăng áp suất phun, lựa chọn kiểu phun đơn điểm hay đa điểm... Mặc dù đây là biện pháp rất hữu hiệu nhưng chỉ riêng bản thân chúng chưa đủ để giúp động cơ đáp ứng được các tiêu chuẩn ô nhiễm ngày càng nghiêm ngặt hơn [2].

Nhóm thứ hai: Xử lý khí thải. Đây là các biện pháp nhằm đảm bảo hàm lượng các chất độc hại có trong khí thải trước khi thải vào môi trường phải nhỏ hơn giới hạn cho phép được quy định trong các điều luật. Có rất nhiều công nghệ khác nhau để xử lý khí thải như: Bộ xử lý khí thải kiểu xúc tác 3 đường (trung hòa 3 thành phần cơ bản trong khí thải là CO, HC và NOx), Bộ lọc PM, Bộ xử lý khí thải kiểu ô-xy hóa dùng cho động cơ diesel, Bộ xử lý NOx kiểu tích lũy,...) [2].

Nhóm thứ ba: Sử dụng kết hợp các hệ thống phụ trợ. Để phát huy hiệu quả của hai nhóm giải pháp trên cũng như hạn chế sự phát thải quá mức của động cơ ở một số chế độ làm việc, cần phải sử dụng thêm các hệ thống phụ trợ như: Hệ thống đảm bảo nhiệt độ khí nạp; Hệ thống kiểm soát vòng lặp kín (hồi lưu khí thải); hệ thống phun khí (ô-xy) nhằm hỗ trợ phản ứng trên đường thải; hệ thống tự chẩn đoán – OBD (OnBoard Diagnostics)... [2]

Nhóm thứ tư: Các giải pháp liên quan đến nhiên liệu. Nhiên liệu có ảnh hưởng đáng kể đến đặc tính ô nhiễm khí thải động cơ đốt trong. Có nhiều giải pháp giảm ô nhiễm khí thải liên quan đến nhiên liệu như: Đảm bảo sự phù hợp giữa động cơ và nhiên liệu (động cơ có tỷ số nén càng cao thì sử dụng xăng có chỉ số octan càng lớn); nâng cao chất lượng nhiên liệu (ít tạp chất và các phụ gia độc hại); sử dụng nhiên liệu xanh, nhiên liệu thay thế; sử dụng phụ gia trong nhiên liệu [2].

1.8. Nhiên liệu thay thế

Năm 1992 chính sách Năng lượng Hoa Kỳ năm 1992 đã đưa ra 8 loại nhiên liệu thay thế. Một số đã được sử dụng rộng rãi hiện nay, những loại khác mang tính thử nghiệm hơn hoặc chưa được sử dụng rộng. Tất cả có tiềm năng thay thế một phần hoặc toàn bộ cho xăng và dầu diesel.

Ethanol là nhiên liệu thay thế dựa trên rượu tạo bằng cách lên men và chưng cất các loại cây như ngô, lúa mạch. Ethanol được pha trộn với xăng tạo thành xăng sinh học để tăng chỉ số octan và cải thiện chất lượng khí thải ra. Ngoài ra, ethanol còn giúp giảm dần sự phụ thuộc vào nhiên liệu hóa thạch và thúc đẩy nền kinh tế nông nghiệp với những sản phẩm nông nghiệp và phế phẩm nông nghiệp tái tạo được.

Khí tự nhiên Đây là một dạng năng lượng sạch và quan trọng, gồm hỗn hợp các khí hydrocarbon, chủ yếu là khí methane (CH_4). Khí thiên nhiên được hình thành do quá trình phân hủy của vật liệu hữu cơ (chẳng hạn như xác động vật, thực vật) dưới điều kiện nhiệt độ và áp suất cao trong thời gian kéo dài (hàng triệu năm). Hiện nay, nó là một loại nhiên liệu thay thế đốt sạch và đã được phổ biến rộng rãi cho người dân nhiều quốc gia thông qua các tiện ích cung cấp khí đốt tự nhiên đến hộ gia đình và doanh nghiệp. Khi được sử dụng trong các phương tiện giao thông chạy bằng khí tự nhiên (như ô tô và xe tải có động cơ thiết kế riêng), khí tự nhiên tạo ra khí thải độc hại ít hơn rất nhiều so với xăng hoặc dầu diesel. Hơn nữa, trữ lượng khí tự nhiên rất phong phú và chi phí khai thác thấp, giúp ổn định giá nhiên liệu và sự cạn kiệt nhiên liệu truyền thống.

Điện được sử dụng làm nhiên liệu thay thế vận tải cho loại xe chạy bằng pin và pin nhiên liệu. Xe điện chạy bằng pin lưu trữ năng lượng và được sạc điện lại bằng cách cắm xe vào nguồn điện thiết kế phù hợp theo tiêu chuẩn. Xe chạy bằng pin nhiên liệu có lượng điện được tạo ra thông qua phản ứng điện hóa xảy ra khi hydro và oxy kết hợp. Pin nhiên liệu sản xuất điện mà không cần quá trình đốt cháy hoặc phát thải gây ô nhiễm. Ngoài ra, việc sử dụng năng lượng tái tạo như điện mặt trời và điện gió không phát thải để sạc xe điện giúp giảm thiểu khí thải nhà kính.

Hydro có thể được trộn với khí tự nhiên (không khí xung quanh) để tạo ra nhiên liệu thay thế cho các loại xe sử dụng loại động cơ đốt trong. Hydro còn được sử dụng cho các loại phương tiện chạy bằng pin nhiên liệu được tạo ra từ phản ứng điện hóa xảy ra khi hydro và oxy được tác dụng trong "ngăn xếp" nhiên liệu. Việc sản xuất hydro từ các nguồn tái tạo, như điện phân nước sử dụng năng lượng mặt trời hoặc gió, giúp giảm phát thải khí nhà kính và đóng góp cho quá trình chuyển đổi năng lượng hóa thạch sang năng lượng bền vững.

Propane (hay là khí hóa lỏng hoặc LPG) là phụ phẩm của quá trình chế biến khí tự nhiên và khai thác, tinh chế dầu thô, được sử dụng rộng rãi làm nhiên liệu để nấu ăn và sưởi ấm. Propane cũng là một loại nhiên liệu thay thế phổ biến cho các phương tiện

giao thông (nhiều chiếc xe buýt, tàu thuyền hiện nay đã sử dụng động cơ chạy nhiên liệu LPG). Propane tạo ra ít khí thải hơn xăng và có phương tiện cơ sở hạ tầng rất phát triển cho việc vận chuyển, lưu trữ và phân phối propane tới nhiều nơi. Hơn nữa, propane có thể được lưu trữ dễ dàng trong các bình chứa nhỏ, phù hợp cho các khu vực nông thôn hoặc vùng sâu vùng xa (Ví dụ như bình gas nấu ăn trong gia đình).

Dầu diesel sinh học là một loại nhiên liệu thay trên cơ sở từ dầu thực vật hoặc mỡ động vật, thậm chí những loại dầu sau khi các nhà hàng sử dụng chúng để nấu ăn còn có thể được tái chế. Động cơ xe có thể chuyển đổi để đốt được dầu diesel sinh học ở dạng nguyên chất. Khi không sửa đổi Dầu diesel sinh học có thể được pha trộn với dầu diesel và sử dụng trong các động cơ không sửa đổi. Dầu diesel sinh học an toàn, có thể phân hủy tự nhiên, giảm chất ô nhiễm không khí liên quan đến khí thải xe như carbon monoxide, muội than và hydrocacbon. Việc sử dụng dầu diesel sinh học còn giúp giảm sự phụ thuộc vào dầu mỏ đang cạn dần và tận dụng nguồn phế thải hữu cơ.

Metanol hay được gọi là cồn gỗ, được sử dụng như nhiên liệu thay thế trong các phương tiện chạy bằng nhiên liệu linh hoạt và được thiết kế để chạy trên M85, là hỗn hợp bao gồm 85% metanol và 15% xăng, nhưng bây giờ các nhà sản xuất ô tô đã không còn sản xuất xe chạy bằng metanol nữa do chưa thực sự hiệu quả. Tuy nhiên, methanol có thể làm nhiên liệu thay thế quan trọng trong tương lai, nguồn để sản xuất ra hydro cần thiết để cung cấp năng lượng cho các loại phương tiện chạy bằng pin nhiên liệu.

Nhiên liệu P-Series là sự pha trộn của etanol, khí tự nhiên hóa lỏng và methyltetrahydrofuran (MeTHF) (là một đồng dung môi có nguồn gốc từ sinh khối). Nhiên liệu P-Series là nhiên liệu thay thế tốt, có trị số octan cao, có thể được sử dụng trong các loại xe dùng nhiên liệu linh hoạt. Nhiên liệu P-Series sử dụng bằng cách để riêng lẻ hoặc trộn với xăng theo bất kỳ tỷ lệ nào bằng cách trộn 2 chất vào bình chứa. Việc phát triển và mở rộng sử dụng nhiên liệu P-Series góp phần giảm khí thải nhà kính và tiếp tục thúc đẩy nền kinh tế sinh học.

1.9. Nhiên liệu khí Hydro

Nhiên liệu hydro hay còn gọi là hydrogen là một loại nhiên liệu không phát thải khí thải gây ô nhiễm, hình thành qua quá trình đốt cháy ngọn lửa có khí hydro tinh khiết trong không khí. Để sản xuất nhiên liệu hydro phải sản xuất được hydro tinh khiết, tuy nhiên lượng hydro có trên bề mặt trái đất đa số chỉ tồn tại qua dạng hợp chất (H_2) [3].

Vì thế, quá trình điều chế cần thực hiện một số phản ứng. Một số phương pháp phổ biến hiện nay có thể sản xuất nhiên liệu hydro như:

- Tạo ra khí hydro thông qua các phản ứng hóa học tự nhiên.
- Bằng phản ứng than hoặc phương pháp sinh khối hơi nước và oxy trong điều kiện môi trường nhiệt độ cao và áp suất thấp.
- Phương pháp điện phân nước.
- Quá trình lên men hình thành khí hydro.

Sau khi sản xuất thành công, nhiên liệu Hydro sẽ được vận chuyển bằng các đường ống dẫn, bồn hydro hóa lỏng hoặc bình nén khí. Trong đó, cách vận chuyển sử dụng nhất là các đường ống dẫn vì nó có giá thành rẻ và chuyển được nhiều nhất.

Những ưu và nhược điểm của nhiên liệu hydro.

Ưu điểm

Được đánh giá cao là nguồn nhiên liệu của tương lai, mang triển vọng lớn, hydro mang nhiều ưu điểm vượt trội như:

- Nhiên liệu có tỷ lệ tái tạo rất cao.
- Có mặt khắp mọi nơi.
- Không phát thải chất làm ô nhiễm không khí (sản phẩm quá trình là hơi nước).
- Không phản ứng tạo ra các chất gây ô nhiễm.
- Hiệu suất quá trình cao.

Nhược điểm

Bên cạnh các ưu điểm trên, sử dụng nhiên liệu hydro còn tồn tại một vài nhược điểm như sau:

- Khó khăn trong việc lưu trữ: Hydro được sử dụng hiện nay cần độ tinh khiết cao, nên chúng cần nhiều yêu cầu khắt khe trong việc bảo quản và lưu trữ.
- Hiện nay, để chủ yếu sản xuất nhiên liệu hydro phải sử dụng nhiều nhiên liệu hóa thạch (gián tiếp gây ô nhiễm).

Ứng dụng của nhiên liệu hydro trong thực tiễn.

Cùng với ưu điểm về hiệu quả sử dụng, nhiên liệu hydro được sử dụng phổ biến trong nhiều khía cạnh, lĩnh vực của đời sống hiện nay như:

- Cung cấp cho các phương tiện sử dụng nhiên liệu hidro hóa lỏng như: Tên lửa, ô tô, máy bay và thuyền tàu.

- Chuyển hóa nguồn dầu mỏ nặng trở thành những khâu nhẹ hơn để sử dụng làm nhiên liệu.
- Sản xuất, tạo ra NH_3 được dùng làm nguyên liệu phân bón trong nông nghiệp.
- Hydro được sử dụng tạo ra nguồn điện cho dòng xe điện và các thiết bị điện.

TÓM TẮT CHƯƠNG 1

Chương 1 trình bày tổng quan về những quy định giảm phát thải khí xả động cơ, tác hại của khí thải và nêu các giải pháp giảm phát thải. Tiêu chuẩn khí thải là yêu cầu pháp lý để quy định giới hạn các chất ô nhiễm phát thải vào môi trường từ các phương tiện giao thông, góp phần vào bảo vệ môi trường và sức khỏe con người. Các bộ tiêu chuẩn phổ biến hiện nay bao gồm các tiêu chuẩn của Hoa Kỳ, Nhật Bản và Châu Âu (Euro). Tại Việt Nam, tiêu chuẩn khí thải Euro 4 được áp dụng từ năm 2018 và năm 2022 áp dụng Euro 5. Khí thải từ động cơ đốt trong có chứa nhiều chất độc hại như CO, HC, Pb, NO_x, và bụi mịn PM_{2.5}, gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến sức khỏe con người và môi trường, đặc biệt là các bệnh liên quan đến đường hô hấp, tim mạch và ung thư.

Để giảm phát thải khí xả từ các phương tiện, các giải pháp được áp dụng bao gồm tối ưu quá trình cháy qua thiết kế động cơ và hệ thống phun nhiên liệu điều khiển điện tử; xử lý khí thải bằng các thiết bị như, bộ lọc hạt (DPF), bộ xúc tác ba chức năng và hệ thống tuần hoàn khí thải (EGR); sử dụng các hệ thống phụ trợ như tuần hoàn khí thải và hệ thống chẩn đoán OBD; và sử dụng nhiên liệu sạch, nhiên liệu sinh học hoặc nhiên liệu thay thế ít gây phát thải khí ô nhiễm. Các loại nhiên liệu thay thế phổ biến gồm ethanol, khí tự nhiên (CNG), điện, hydro, propane (LPG), dầu diesel sinh học, methanol và nhiên liệu P-Series. Đặc biệt, hydro được xem là nguồn nhiên liệu quan trọng của tương lai nhờ khí thải sạch và hiệu suất cao, tuy nhiên vẫn còn gặp khó khăn trong việc lưu trữ và sản xuất. Hydro được ứng dụng rộng rãi trong phương tiện giao thông, sản xuất điện, phân bón và ngành công nghệ vũ trụ.

Tóm lại, chương này nêu lên tầm quan trọng của các tiêu chuẩn khí thải trong công cuộc giảm ô nhiễm không khí và bảo vệ sức khỏe cộng đồng. Đồng thời, các giải pháp công nghệ và sử dụng nhiên liệu thay thế đóng như vai trò then chốt trong nỗ lực giảm phát thải khí xả từ các phương tiện giao thông thải ra. Việc kết hợp các công nghệ tiên tiến và phát triển nhiên liệu sạch là hướng đi đúng và tất yếu để hướng tới một môi trường sống trong lành và phát triển bền vững.

CHƯƠNG 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.5. Động cơ đốt trong

2.5.1. Khái niệm

Động cơ đốt trong nói chung, động cơ xăng và động cơ diesel nói riêng kiểu piston chuyển động tịnh tiến thuộc loại động cơ nhiệt. Hoạt động nhờ quá trình biến đổi hoá năng sang nhiệt năng do nhiên liệu bị đốt cháy rồi chuyển sang cơ năng. [3] Quá trình này được thực hiện ở trong xy lanh của động cơ.

2.5.2. Phân loại

Theo nhiên liệu sử dụng:

- + Động cơ xăng: động cơ sử dụng nhiên liệu xăng.
- + Động cơ diesel: động cơ sử dụng nhiên liệu diesel.

Theo phương pháp tạo hoà khí và đốt cháy:

+ Động cơ tạo hoà khí bên ngoài, là loại động cơ mà hỗn hợp nhiên liệu và không khí được tạo thành bên ngoài xy lanh nhờ một bộ phận có cấu tạo đặc biệt (bộ chế hoà khí - carburettor) sau đó được đưa vào xy lanh sau đó được đốt cháy ở đây bằng tia lửa điện (động cơ xăng dùng bộ chế hoà khí). [3]

+ Động cơ tạo hoà khí bên trong, là loại động cơ mà hỗn hợp hơi nhiên liệu và không khí được tạo thành ở bên trong xy lanh nhờ một bộ phận có cấu tạo đặc biệt (bơm cao áp và vòi phun,...) và hỗn hợp này tự bốc cháy do hỗn hợp bị nén ở nhiệt độ cao (động cơ diesel).

Theo số kỳ thực hiện một chu trình công tác:

- + Động cơ bốn kỳ (4 strokes): Chu kỳ làm việc được hoàn thành sau bốn hành trình của piston hoặc hai vòng quay của trục khuỷu;
- + Động cơ hai kỳ (2 strokes): Chu kỳ làm việc được hoàn thành sau hai hành trình của piston hoặc một vòng quay của trục khuỷu.

Theo quá trình cấp nhiệt và tỷ số nén :

- + Động cơ làm việc theo quá trình cấp nhiệt đẳng tích, loại này bao gồm những động cơ có tỷ số nén thấp, như động cơ sử dụng xăng, nhiên liệu cồn và khí;
- + Động cơ làm việc theo quá trình cấp nhiệt đẳng áp, loại này bao gồm những động cơ có tỷ số nén, như động cơ phun nhiên liệu bằng không khí nén và tự bốc cháy, động cơ sử dụng bột than;
- + Động cơ làm việc theo quá trình cấp nhiệt hỗn hợp, loại này bao gồm những động cơ có tỷ số nén như động cơ diesel. [3]

Quá trình làm việc của động cơ diesel bốn kỳ tương tự động cơ xăng 4 kỳ, gồm bốn hành trình: nạp, nén, cháy giãn nở (nổ), và thải (xả). Tuy nhiên, trong động cơ diesel, quá trình nạp và nén chỉ có không khí (không phải hoà khí) và nhiên liệu tự cháy do không khí bị nén có nhiệt độ cao (không sử dụng tia lửa điện).

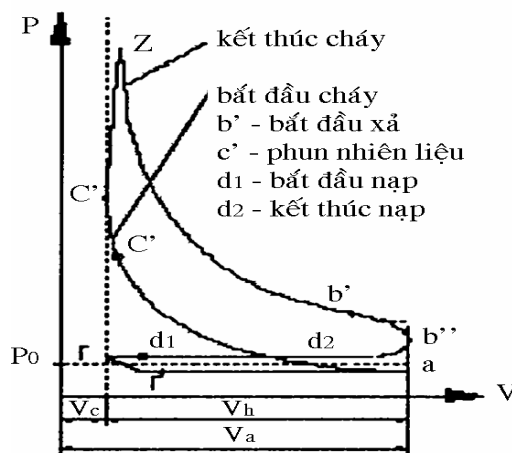
2.2.3. Quá trình cháy trong động cơ diesel 4 kỳ

Chu kỳ làm việc của động cơ diesel 4 kỳ diễn ra như sau:

- **Hành trình nạp:** (Hình 2.2a) Khi trục khuỷu quay, piston di chuyển từ ĐCT xuống ĐCD. Xupáp nạp mở, xupáp thải đóng, tạo ra áp suất thấp trong xylanh, hút không khí từ bên ngoài vào. Cuối hành trình nạp, áp suất và nhiệt độ không khí trong xylanh: $p_a = 0,8 - 0,9 \text{ kg/cm}^2$; $T_a = 330 - 380 \text{ K}$.

- **Hành trình nén:** (Hình 2.2b) Cả xupáp nạp và thải đều đóng. Piston di chuyển từ ĐCD lên ĐCT, không khí bị nén, làm tăng áp suất và nhiệt độ. Cuối hành trình nén, vòi phun phun nhiên liệu vào xylanh, hòa trộn với không khí nóng và tự bốc cháy. Áp suất và nhiệt độ cuối hành trình nén: $p_c = 40 - 50 \text{ kg/cm}^2$; $T_c = 800 - 900 \text{ K}$.

- **Hành trình cháy giãn nở sinh công:** (Hình 2.2c) Nhiên liệu cháy nhanh khi piston gần ĐCT, làm áp suất tăng mạnh, đẩy piston từ ĐCT xuống ĐCD, truyền lực qua thanh truyền làm quay trục khuỷu, sinh công. Áp suất và nhiệt độ cực đại: $p_z = 60 - 80 \text{ kg/cm}^2$; $T_z = 1900 - 2200 \text{ K}$.



Hình 2.2: sơ đồ P-V (áp suất - thể tích) của động cơ diesel 4 kỳ

- **Hành trình thải:** (Hình 2.2d) Xupáp nạp đóng, xupáp thải mở. Piston di chuyển từ ĐCD lên ĐCT, đẩy khí thải ra ngoài qua xupáp thải, hoàn tất một chu kỳ làm việc.

2.7. Sơ đồ hệ thống cung cấp nhiên liệu cho động cơ diesel 4 kỳ

2.7.1. Nhiệm vụ chính của hệ thống nhiên liệu diesel

- Cung cấp nhiên liệu cần thiết vào động cơ

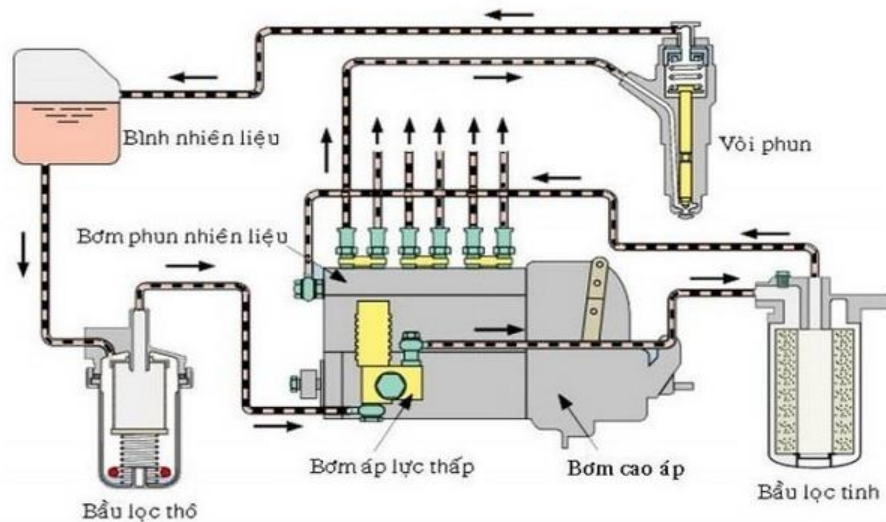
Trong hệ thống cung cấp nhiên liệu diesel sẽ bao gồm các bộ phận như xi lanh, piston được lắp đặt trực tiếp vào thân bơm phun. Nhiên liệu được nén đến áp suất cao, sau đó vận chuyển đến kim phun và phân tán nhiên liệu vào buồng đốt động cơ.

- Điều chỉnh lượng nhiên liệu

Lượng không khí được nạp vào động cơ diesel hầu như là không đổi và không phụ thuộc vào tốc độ quay hoặc tải trọng. Vì công suất động cơ tỉ lệ thuận với lượng phun nên khi hệ thống nhiên liệu diesel thay đổi lượng phun sẽ khiến cho công suất và mức tiêu thụ nhiên liệu thay đổi theo.

- Điều chỉnh thời gian phun

Hệ thống diesel có nhiệm vụ phun nhiên liệu đến xi lanh vào một thời điểm thích hợp. Do vậy, động cơ có thể đốt cháy nhiên liệu một cách dễ dàng và nhanh chóng.



Hình 2.3 [3]: Hệ thống diesel có nhiệm vụ cung cấp lượng nhiên liệu cần thiết vào động cơ

2.3.2. Cấu tạo và nguyên lý làm việc của hệ thống nhiên liệu diesel

Cấu tạo hệ thống nhiên liệu diesel bao gồm 5 thành phần:

- **Bình chứa nhiên liệu** (The Fuel Tank): Là bộ phận dự trữ và cung cấp nhiên liệu cho động cơ, được thiết kế phù hợp với nhu cầu sử dụng trong khoảng thời gian hợp lý. Bình chứa nhiên liệu đều có nắp đậy đảm bảo không bị nhiễm bẩn, có lỗ thông hơi để không khí đi vào và thay thế nhiên liệu đang sử dụng. Ngoài ra, bình chứa nhiên liệu còn thiết kế ba lỗ mở để làm đầy bình, xả nhiên liệu và thoát nước.

- **Đường dẫn nhiên liệu** (The Fuel Lines): Trong cấu tạo hệ thống nhiên liệu diesel, có ba loại đường dẫn nhiên liệu trong động cơ. Trong đó:

- Đường dẫn nhiên liệu nặng có khả năng chịu được áp suất cao từ bơm cao áp đến vòi phun.
- Đường dẫn nhiên liệu trung bình sẽ tạo một áp suất từ trung bình đến nhẹ tồn tại giữa bình chứa và vòi phun.

- Đường dẫn nhiên liệu nhẹ sẽ dẫn diesel từ bình chứa đến bơm cao áp. Thường được sử dụng trong các khu vực chịu ít áp lực.

- **Lọc nhiên liệu** (The diesel Fuel Filters): Là bộ phận giúp ngăn chặn các yếu tố làm tắc nghẽn hệ thống nhiên liệu trong cấu tạo hệ thống nhiên liệu diesel. Bộ phận lọc nhiên liệu có cấu tạo gồm ba phần: màng lọc chuyển nhiên liệu diesel, màng lọc sơ cấp và màng lọc thứ cấp. Thông thường, hệ thống nhiên liệu diesel cần được lọc nhiều lần để đảm bảo động cơ luôn được vận hành êm ái.

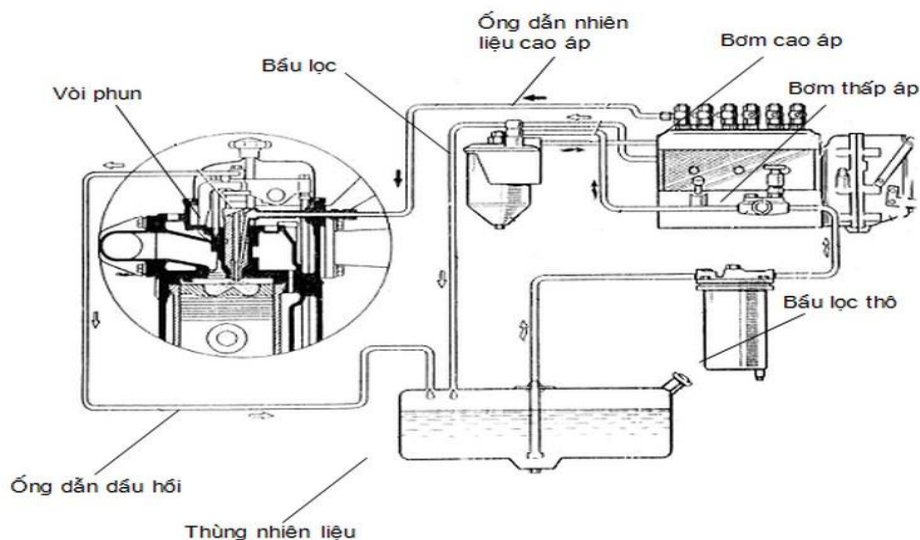
- **Vòi phun** (The Fuel Injectors): Vòi phun có nhiệm vụ phun nhiên liệu cao áp vào buồng đốt. Đây được coi là bộ phận quan trọng của cấu tạo hệ thống nhiên liệu diesel trong quá trình đốt cháy nhiên liệu.

- **Bơm phun nhiên liệu** (The diesel Fuel Pumps): Là bộ phận được sử dụng nhiều trong các cấu tạo hệ thống nhiên liệu diesel tốc độ cao, giúp tự động cung cấp nhiên liệu hệ thống phun. Bơm phun thường sẽ đi kèm với đòn bẩy để giúp khí xả ra khỏi hệ thống.

Nguyên lý làm việc của hệ thống nhiên liệu diesel

Nguyên lý làm việc của hệ thống nhiên liệu diesel được diễn ra như sau: khi động cơ hoạt động, nhiên liệu như dầu diesel từ bình chứa được đưa qua đường ống dẫn đến bầu lọc thô và bơm áp thấp. Ở đây, nhiên liệu sẽ được lọc sạch và chuyển đến ngăn chứa của bơm cao áp.

Trước khi vào xi lanh, nhiên liệu sẽ được bơm ở ngoài hòa trộn với không khí cho đến khi vào xi lanh gặp áp suất và nhiệt bên trong sẽ tự bốc cháy, tạo ra động năng giúp xe khởi động. Phần khí thải sau khi cháy sẽ theo ống xả đi ra bên ngoài.



Hình 2.4: Sơ đồ hệ thống nhiên liệu của động cơ diesel

2.8. Lý thuyết mô phỏng động cơ bằng phương pháp CFD.

CFD là phương pháp dùng máy tính để giải quyết những phương trình vật lý mô tả dòng chảy chất lỏng và khí, (như phương trình Navier-Stokes cho chất lưu). Mục tiêu của CFD trong mô phỏng động cơ là dự đoán sự thay đổi nhiệt độ, áp suất, vận tốc, và sự phân phối nhiên liệu và không khí bên trong động cơ để hiệu suất tối ưu, giảm tiêu hao nhiên liệu và giảm phát thải.

2.4.1 Các bước cơ bản trong mô phỏng CFD

- **Tạo mô hình hình học:** Đây là một bước xác định, xây dựng không gian làm việc và thường dựa trên hình học thực tế của động cơ.

- **Chia lưới:** Mô hình hình học được chia nhỏ thành các phần tử lưới (meshing) để làm cơ sở cho tính toán CFD. Lưới càng tinh vi thì có kết quả mô phỏng càng chính xác, nhưng thời gian tính toán cũng tăng theo tương ứng.

- **Xác định điều kiện biên và ban đầu:** Xác định điều kiện dòng chảy vào, dòng chảy ra, tường, áp suất ban đầu, điều kiện nhiệt độ, ... Những điều kiện cần phù hợp hoạt động thực tế của động cơ.

- **Thiết lập mô hình vật lý:** Trong CFD, mô hình hóa các hiện tượng vật lý như chuyển pha, quá trình cháy, và mô hình dòng chảy rối rất quan trọng. Đối với động cơ, mô hình cháy (combustion model) và dòng chảy rối (turbulence model) là hai yếu tố chính.

- **Chạy mô phỏng:** Sau khi thiết lập xong tất cả các yếu tố, mô hình được đưa vào máy tính để thực hiện việc tính toán. Các phần mềm CFD như OpenFOAM, CONVERGE, hoặc ANSYS Fluent hay được sử dụng giải bài toán này.

- **Phân tích kết quả:** Kết quả mô phỏng cho phép phân tích được các yếu tố như sự phân phối nhiệt, áp suất, vận tốc, sự hình thành của hỗn hợp nhiên liệu - không khí, và các vùng phát thải.

2.4.2. Các mô hình và lý thuyết chính trong CFD cho động cơ

- **Mô hình cháy (Combustion models):** Động cơ đốt trong yêu cầu sự mô phỏng quá trình cháy chính xác. Các mô hình cháy thường được dùng là Premixed Combustion, Non-Premixed Combustion, các mô hình cháy hỗn hợp (Mixed Combustion).

Mô hình cháy phổ biến trong mô phỏng CFD động cơ:

ECFM-3Z (Extended Coherent Flame Model 3-Zones): Chia buồng đốt thành ba vùng để mô phỏng sự phân bố nhiệt độ và các sản phẩm cháy.

Mô hình ECFM hiện nay được dùng cho quá trình đốt cháy xăng. Mô hình ECFM-3Z (3Z là viết tắt của 3 vùng) được phát triển đặc biệt dành cho quá trình đốt cháy Diesel. Đây là mô hình đốt dựa vào phương trình vận chuyển mật độ bề mặt ngọn lửa và mô hình trộn có thể mô tả quá trình đốt cháy trộn sẵn và khuếch tán hỗn loạn không đồng nhất. Mô hình này dựa trên mô hình đốt ECFM, được mô tả và triển khai trước đây trong FIRE và trên mô tả trộn ba khu vực. Ngoài ra, nó được kết hợp với mô tả hóa học khí cháy được cải thiện với ECFM.

Trước đây, mô hình đốt ECFM-3Z chỉ áp dụng các trường hợp đánh lửa tự động, dù mã đã được chuẩn bị để xử lý cả quy trình đánh lửa, đánh lửa tự động và đánh lửa tia lửa. Mô hình đốt ECFM động cơ xăng cũng có thể kích hoạt thông qua chế độ ECFM-3Z sử dụng tất cả các tính năng như xử lý loại chung hoặc cơ chế phản ứng oxy hóa CO/CO₂ riêng biệt. Theo đó, tất cả ứng dụng động cơ tiêu chuẩn có thể tính toán bởi cùng một mô hình đốt cháy.

- **Mô hình Phát thải (Emission Models)** Mô hình phát thải dự đoán và mô phỏng sự hình thành chất ô nhiễm trong quá trình cháy. Các loại phát thải chính sinh ra trong động cơ gồm NO_x, CO, HC, và muội than (soot).

- **Mô hình NO_x**

+ **Nguồn gốc:** NO_x hình thành khi nhiệt độ trong buồng đốt cao, tạo điều kiện cho nitơ và oxy trong không khí phản ứng.

+ **Các mô hình NO_x tiêu biểu:**

o **Thermal NO_x (Zeldovich mechanism):** Tập trung sự hình thành NO_x ở nhiệt độ cao.

o **Prompt NO_x:** Xảy ra ở khu vực xuất hiện ngọn lửa, liên quan đến chuỗi phản ứng nhanh giữa hydrocarbon và nitơ.

o **Fuel NO_x:** Hình thành từ nitơ trong nhiên liệu.

- **Mô hình CO và HC**

+ **Nguồn gốc CO:** Hình thành khi nhiên liệu cháy không hoàn toàn, phổ biến ở khu vực thiếu oxy hoặc nhiệt độ không đủ cao.

+ **Nguồn gốc HC:** Phát sinh do nhiên liệu không cháy trong các khe hẹp của buồng đốt, chủ yếu ở động cơ chạy giàu nhiên liệu.

+ **Các mô hình CO và HC:** Chủ yếu vào các mô hình phản ứng cháy chậm, mô tả các quá trình ôxy hóa chưa hoàn toàn của nhiên liệu.

- **Mô hình Muội than (Soot)**

+ **Nguồn gốc:** Muội than hình thành do các khu vực đốt giàu nhiên liệu và thiếu oxy, là sản phẩm phản ứng cháy không hoàn toàn.

+ **Các mô hình Muội than tiêu biểu:**

○ **Mô hình hình thành muội than:** Xem xét sự tụ hợp của hydrocarbon và các phản ứng hóa học tạo phân tử lớn dẫn đến hình thành muội.

○ **Mô hình oxy hóa muội than:** Tập trung vào sự oxy hóa và phân hủy các hạt muội trong các vùng có chứa nhiều oxy và nhiệt độ.

- **Mô hình Phun Nhiên liệu (Spray Models):** Mô hình phun nhiên liệu mô phỏng quá trình giọt nhiên liệu phun, phân tán, và hòa trộn bên trong buồng đốt.

Evaporation Models (Mô hình Bốc hơi)

+ **Mục đích:** Mô tả quá trình các hạt giọt nhiên liệu chuyển từ pha lỏng sang pha hơi dưới tác dụng từ nhiệt độ cao trong buồng đốt, Là bước chuẩn bị quan trọng cho quá trình cháy.

+ **Các yếu tố ảnh hưởng:**

○ **Kích thước hạt giọt:** Các hạt giọt lớn bốc hơi chậm hơn hạt nhỏ.

○ **Nhiệt độ không khí và áp suất:** Nhiệt độ và áp suất cao sẽ thúc đẩy tốc độ bốc hơi.

○ **Đặc tính nhiên liệu:** Độ nhớt và áp suất hơi của nhiên liệu ảnh hưởng đến tốc độ bốc hơi.

+ **Các mô hình bốc hơi tiêu biểu:**

○ **Single-Droplet Models:** Xem xét sự truyền nhiệt giữa các hạt giọt và môi trường xung quanh. Một mô hình phổ biến được dùng là **D^2 -Law Model**, được cho rằng kích thước hạt giọt giảm tỷ lệ thuận với thời gian bốc hơi.

○ **Multi-Component Evaporation Models:** Mô hình cho các nhiên liệu phức tạp (như diesel) chứa nhiều hợp chất với các tốc độ bốc hơi khác nhau, cung cấp dự đoán chính xác cho các nhiên liệu đa thành phần.

Break-Up Models (Mô hình Phá vỡ Hạt Giọt)

+ **Mục đích:** Mô hình này mô tả quá trình các tia nhiên liệu bị phá vỡ trở thành các hạt giọt nhỏ trong tác động của lực khí động và lực căng bề mặt.

+ **Các pha chính của quá trình phá vỡ:**

◦ **Primary Break-up:** Quá trình phân rã ban đầu của tia nhiên liệu thành các hạt giọt lớn hơn.

◦ **Secondary Break-up:** Các hạt giọt lớn tiếp tục bị phá vỡ thành các hạt nhỏ hơn do lực khí động học khi đi qua không khí.

+ **Các mô hình phá vỡ tiêu biểu:**

◦ **Kelvin-Helmholtz Rayleigh-Taylor (KH-RT):** Sử dụng hai cơ chế phá vỡ dựa trên tính bất ổn định Kelvin-Helmholtz và Rayleigh-Taylor để mô tả quá trình tia nhiên liệu bị phá vỡ.

◦ **Taylor Analogy Break-up (TAB):** Xem xét sự dao động của các hạt giọt khi chịu lực kéo, mô phỏng quá trình phá vỡ của hạt giọt lớn thành các giọt nhỏ.

Turbulence (Nhiều loạn)

+ **Mục đích:** Nhiều loạn ảnh hưởng lớn tới quá trình phân tán và trộn lẫn của nhiên liệu và không khí, góp phần quan vào việc bốc hơi và cháy hiệu quả.

+ **Mô hình nhiều loạn phổ biến trong mô phỏng CFD:**

◦ **RANS Models (Reynolds-Averaged Navier-Stokes):** Sử dụng phương pháp thống kê dự đoán ảnh hưởng nhiều loạn thông qua các mô hình như $k-\omega$ và $k-\epsilon$, được áp dụng phổ biến do có tính ổn định và độ tin cậy.

◦ **LES (Large Eddy Simulation):** Mô hình hóa các xoáy lớn (eddy) trong dòng khí, cung cấp thông tin chi tiết về phân bố nhiều loạn.

◦ **DNS (Direct Numerical Simulation):** Giải các phương trình Navier-Stokes không cần mô hình hóa các xoáy, cung cấp kết quả chi tiết nhưng đòi hỏi năng lực tính toán cao.

Diesel Nozzle (Vòi phun Diesel)

+ **Mục đích:** Vòi phun diesel có vai trò quan trọng trong việc tạo ra tia phun nhiên liệu và ảnh hưởng lớn tới quá trình nguyên tử hóa (atomization) và phân bố nhiên liệu trong buồng đốt.

+ **Các yếu tố thiết kế:**

◦ **Áp suất phun:** Áp suất cao hơn tạo ra tia phun mịn hơn, tăng hiệu quả đến sự bốc hơi và cháy.

◦ **Kích thước và hình dạng lỗ phun:** Quyết định mức độ nguyên tử hóa và hướng tia phun. Các lỗ phun nhỏ hơn hoặc có thiết kế đặc biệt giúp tạo ra hạt giọt nhỏ, tăng khả năng bốc hơi.

◦ **Vị trí và hướng phun:** Ảnh hưởng vị trí tập trung nhiên liệu, dẫn đến sự tối ưu hóa quá trình cháy và giảm phát thải.

2.5. Tổng quát về phần mềm mô phỏng AVL FIRE

AVL FIRE là phần mềm mô phỏng động lực học chất lỏng trong tính toán (CFD) tiên tiến hiện nay, được thiết kế để phân tích và tối ưu hóa hiện tượng dòng chảy, truyền nhiệt và quá trình cháy trong hệ thống cơ khí, đặc biệt dùng trong lĩnh vực động cơ đốt trong và truyền động.

Trong mô phỏng động cơ, AVL FIRE đóng vai trò quan trọng trong phân tích và tối ưu hóa hiệu suất các loại động cơ như xăng, diesel, và hybrid. Các ứng dụng cụ thể trong mô phỏng động cơ như:

- Phân tích quá trình cháy: AVL FIRE mô phỏng chi tiết quá trình cháy xảy ra trong buồng đốt, dự đoán chính xác sự lan truyền ngọn lửa, hình thành khí thải, và các hiện tượng xảy ra như kích nổ hoặc cháy không hoàn toàn. Điều này giúp tối ưu hóa hiệu suất cháy và giảm thiểu lượng khí phát thải ra.

- Mô phỏng phun nhiên liệu: Phần mềm giúp nhà thiết kế tối ưu hóa hệ thống phun nhiên liệu, từ đó kiểm soát tốt tỷ lệ nhiên liệu - không khí, giúp sự đốt cháy tối ưu.

- Phân tích dòng chảy khí động học: AVL FIRE cho phép mô phỏng dòng chảy không khí tại hệ thống nạp và xả, giúp cải thiện thiết kế buồng đốt và hệ thống dẫn khí tối ưu hóa luồng khí và áp suất, tăng hiệu suất động cơ.

- Truyền nhiệt và kiểm soát nhiệt độ: Phần mềm này giúp hỗ trợ mô phỏng quá trình truyền nhiệt từ buồng đốt đến bộ phận xung quanh động cơ, giúp thiết kế hệ thống làm mát hiệu quả, duy trì nhiệt độ tối ưu động cơ xảy ra trong quá trình hoạt động.

- Mô phỏng các hệ thống hỗ trợ khác: AVL FIRE sử dụng để mô phỏng hệ thống phụ trợ như hệ thống bôi trơn, tăng áp và làm mát, giúp cải thiện độ bền, hiệu suất của động cơ và đồng thời giảm mức tiêu thụ nhiên liệu.

- Kiểm tra và giảm thiểu khí thải: Nhờ khả năng mô phỏng chi tiết các phản ứng hóa học xảy ra trong khi quá trình cháy, AVL FIRE giúp phân tích các yếu tố phát sinh ra khí thải, tìm ra giải pháp giảm thiểu khí thải độc hại, đáp ứng tiêu chuẩn môi trường nghiêm ngặt.

- Phát triển động cơ hybrid: AVL FIRE hỗ trợ mô phỏng, tối ưu hóa các động cơ hybrid, giúp nhà phát triển cân bằng giữa động cơ đốt trong và động cơ điện, tối ưu hóa mức tiêu hao nhiên liệu và hiệu suất.

Nhờ vào các ứng dụng này, AVL FIRE giúp cải thiện hiệu suất động cơ, hỗ trợ thiết kế những hệ thống thân thiện với môi trường, đáp ứng được các tiêu chuẩn khí thải khắt khe và thúc đẩy sự phát triển của công nghệ động cơ bền vững.

TÓM TẮT CHƯƠNG 2

Chương 2 trình bày cơ sở lý thuyết về động cơ đốt trong, tập trung chính vào hai loại động cơ là động cơ xăng và động cơ diesel. Đây là các loại động cơ nhiệt hoạt động trên quá trình chuyển hóa hóa năng của nhiên liệu thành nhiệt năng thông qua quá trình đốt cháy và sau đó thành cơ năng để vận hành các bộ phận cơ khí. Động cơ đốt trong được phân loại theo nhiên liệu sử dụng (xăng, diesel), phương pháp tạo hòa khí (bên ngoài với động cơ xăng sử dụng bộ chế hòa khí và bên trong với động cơ diesel sử dụng bơm cao áp và vòi phun nhiên liệu), theo số kỳ công tác (hai kỳ và bốn kỳ), và theo quá trình cấp nhiệt (đẳng tích, đẳng áp, hỗn hợp). Nguyên lý làm việc của động cơ diesel 4 kỳ gồm bốn hành trình: nạp, nén, cháy giãn nở và thải. Trong hành trình nạp, piston di chuyển từ ĐCT xuống ĐCD, xupáp nạp mở để hút không khí vào xy lanh. Hành trình nén diễn ra khi piston di chuyển từ ĐCD lên ĐCT, nén không khí đến áp suất và nhiệt độ cao, sau đó nhiên liệu được phun vào xy lanh và tự bốc cháy. Quá trình cháy tạo ra áp suất lớn đẩy piston xuống ĐCD, sinh công, và kết thúc bằng hành trình thải khi piston đẩy khí thải ra ngoài qua xupáp thải. Hệ thống cung cấp nhiên liệu diesel bao gồm bình nhiên liệu, đường dẫn nhiên liệu, bộ lọc nhiên liệu, bơm cao áp và vòi phun, giúp cung cấp, điều chỉnh lượng và thời gian phun nhiên liệu tối ưu cho động cơ. Phương pháp mô phỏng CFD (Computational Fluid Dynamics) được sử dụng để phân tích và tối ưu hóa hiệu suất động cơ thông qua việc mô phỏng các quá trình dòng chảy khí, truyền nhiệt, áp suất và cháy trong buồng đốt. Phần mềm AVL FIRE hỗ trợ chi tiết việc mô phỏng các quá trình này, giúp tối ưu hóa hệ thống phun nhiên liệu, cải thiện thiết kế buồng đốt, giảm khí thải và phát triển động cơ hybrid, qua đó nâng cao hiệu suất động cơ, giảm tiêu hao nhiên liệu và đáp ứng các tiêu chuẩn khí thải nghiêm ngặt.

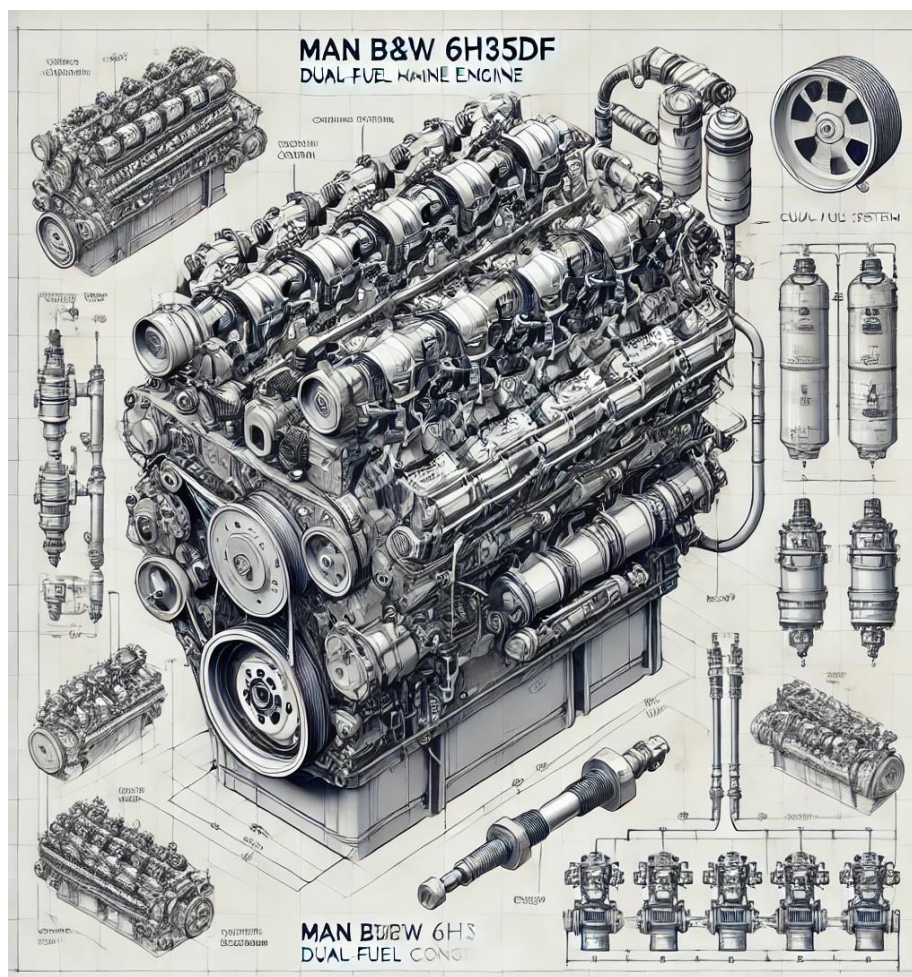
Chương 3. MÔ PHỎNG SỐ CFD QUÁ TRÌNH CHÁY CỦA ĐỘNG CƠ DIESEL 4 KỲ

3.1. Giới thiệu và các thông số kỹ thuật của động cơ

3.1.1. Giới thiệu

Động cơ MAN B&W 6H35DF là động cơ diesel đa nhiên liệu, sáu xi-lanh, được thiết kế để sử dụng trên các loại tàu chở container, tàu vận tải biển và tàu chở khách. Được phát triển bởi MAN Energy Solutions, động cơ này nổi bật nhờ khả năng chạy linh hoạt trên cả dầu diesel và khí tự nhiên hóa lỏng (LNG). Việc sử dụng LNG giúp giảm lượng phát thải chất độc hại, làm cho động cơ phù hợp với các tiêu chuẩn môi trường quốc tế quy định và giúp tiết kiệm các chi phí nhiên liệu. MAN B&W 6H35DF là lựa chọn hàng đầu cho tàu biển yêu cầu công suất cao, vận hành ổn định và đáp ứng các tiêu chuẩn giảm thiểu khí thải.

3.1.2. Thông số kỹ thuật chi tiết



Hình 3.1: Động cơ MAN B&W 6H35DF

- **Loại động cơ:** Động cơ hai kỳ, với 6 xi-lanh thẳng hàng, sử dụng nhiên liệu kép (Dual Fuel).
- **Công suất tối đa:** Khoảng 3.000 kW (tương đương 4.023 mã lực) ở tốc độ 720 vòng/phút.
- **Đường kính xi-lanh:** 350 mm.
- **Hành trình piston:** 440 mm.
- **Tỷ số nén:** 16:1, đảm bảo hiệu suất đốt cháy cao khi dùng cả hai loại nhiên liệu.
- **Tiêu thụ nhiên liệu:**
 - Khi dùng dầu diesel: khoảng 170 g/kWh.
 - Khi dùng LNG: khoảng 140 g/kWh.
- **Trọng lượng khô:** Khoảng 40 tấn, mang lại độ ổn định cao cho động cơ khi lắp đặt trên tàu lớn.

3.1.3. Kết cấu động cơ

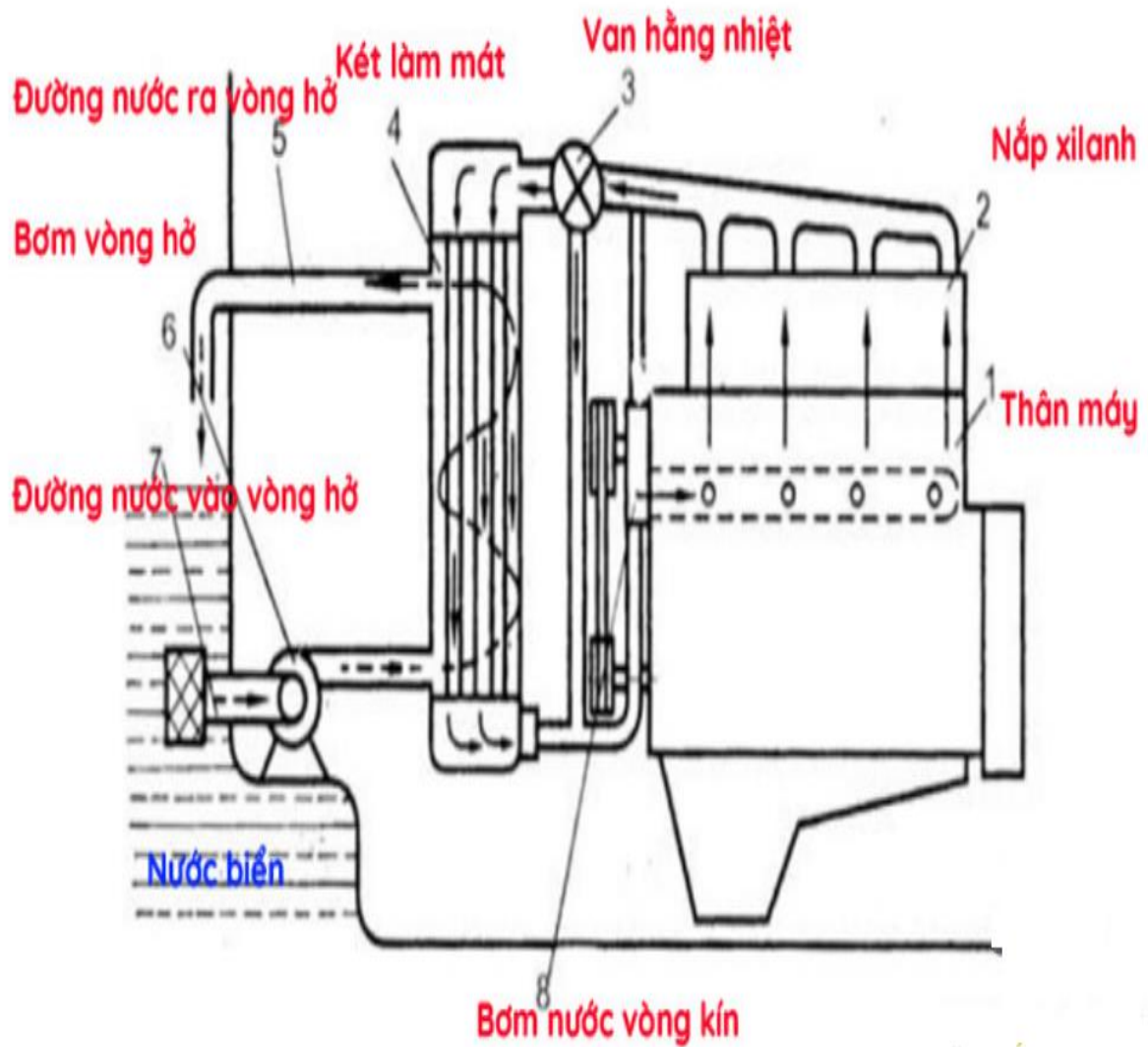
Hệ thống phun nhiên liệu kép (Dual Fuel Injection):

Phun kép: Động cơ được trang bị hệ thống phun kép, cho phép linh hoạt chuyển đổi giữa dầu diesel và LNG.

- **Kiểm soát phun nhiên liệu tự động:** Điều chỉnh tự động lượng nhiên liệu phun vào buồng đốt tùy theo tải động cơ, đảm bảo tiết kiệm nhiên liệu và tối ưu hóa hiệu quả đốt cháy.

Xi-lanh và piston

- **Vật liệu chế tạo:** Xi-lanh và piston được làm từ hợp kim nhôm chất lượng cao, có khả năng chịu nhiệt tốt, giảm ma sát và tăng độ bền.
 - **Vòng piston:** Vòng piston được gia cố, giúp duy trì khả năng kín khí tốt và chịu được áp suất cao, đảm bảo hiệu quả đốt cháy lâu dài.
- Hệ thống làm mát bằng nước biển:**



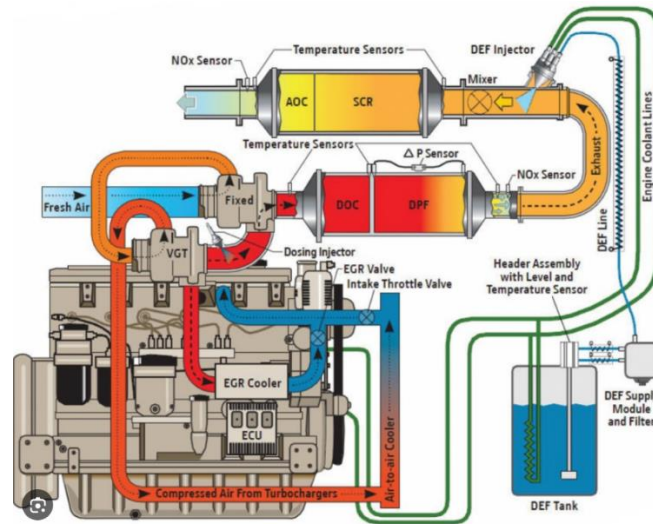
Hình 3.2: Hệ thống làm mát bằng nước biển

- **Sử dụng nước biển:** Nước biển được dùng để làm mát động cơ, giúp giảm nhiệt độ ở các chi tiết chính như xi-lanh và piston.
- **Điều chỉnh nhiệt độ tự động:** Lưu lượng nước được điều chỉnh tự động để đảm bảo nhiệt độ luôn ổn định, bảo vệ động cơ khỏi tình trạng quá nhiệt.

Hệ thống bôi trơn cưỡng bức

- **Bơm dầu áp suất cao:** Dầu bôi trơn được phân phối đến toàn bộ các bộ phận chuyển động của động cơ, giảm ma sát và bảo vệ động cơ.
- **Lọc dầu liên tục:** Hệ thống lọc dầu hiện đại giúp loại bỏ tạp chất, giữ dầu bôi trơn luôn sạch, kéo dài tuổi thọ cho các bộ phận máy.

Hệ thống xả khí và kiểm soát phát thải:



Hình 3.3: Hệ thống xả khí và kiểm soát phát thải (EGR)

- **Xử lý khí thải EGR:** Hệ thống tuần hoàn khí xả (Exhaust Gas Recirculation - EGR) giúp giảm đáng kể lượng khí NO_x , đáp ứng tiêu chuẩn môi trường.
- **Bộ xử lý khí LNG:** Khi chạy bằng LNG, động cơ giảm phát thải CO_2 , SO_x và NO_x , giúp tàu đáp ứng các quy định môi trường quốc tế.

Khung động cơ:

- **Chế tạo từ thép hợp kim chịu lực cao:** Khung động cơ được làm từ thép hợp kim bền bỉ, chịu được áp lực cao, nâng cao độ bền và tuổi thọ cho động cơ.
- **Thiết kế mô-đun:** Các bộ phận của động cơ được thiết kế dạng mô-đun, thuận tiện cho việc tháo lắp, bảo trì và sửa chữa khi cần.

3.1.4. Đặc điểm nổi bật

- **Hiệu suất nhiên liệu cao:** Động cơ MAN B&W 6H35DF có khả năng chuyển đổi linh hoạt giữa hai loại nhiên liệu, hiệu suất đốt cháy vượt trội và giảm tiêu hao nhiên liệu một cách đáng kể khi sử dụng thêm LNG.
- **Giảm phát thải:** Sử dụng nhiên liệu LNG giúp động cơ giảm 20-30% phát thải CO_2 và giảm mạnh NO_x và SO_x , phù hợp với các yêu cầu phát thải nghiêm ngặt thế giới quy định.
- **Bảo trì và sửa chữa dễ dàng:** Thiết kế mô-đun giúp tháo lắp, thay thế và bảo dưỡng các bộ phận đơn giản, tiết kiệm thời gian chi phí bảo trì, bảo dưỡng.
- **Khả năng vận hành bền bỉ:** Động cơ được chế tạo để chịu được các điều kiện, cường độ khắc nghiệt của biển cả, đảm bảo độ tin cậy cho các chuyến đi trên biển dài ngày.

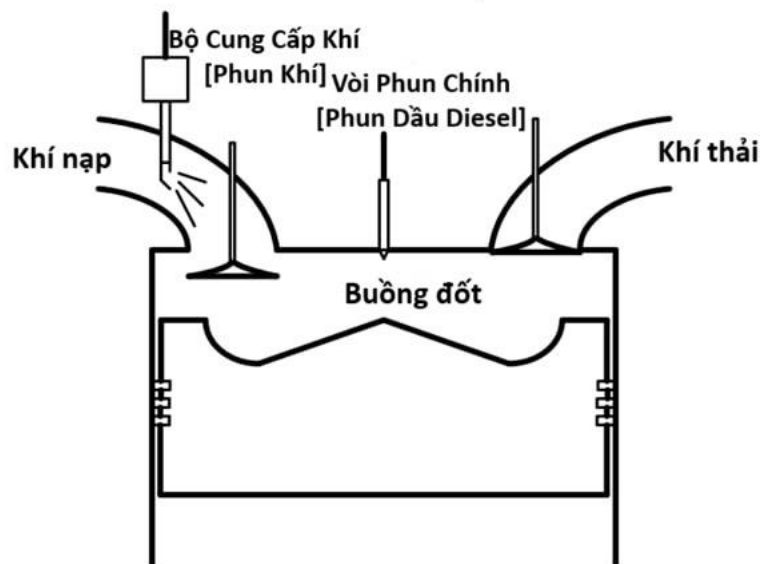
• **Hệ thống giám sát và điều khiển thông minh:** Hệ thống điều khiển tự động giúp các thuyền viên giám sát được các thông số vận hành như nhiệt độ, áp suất và lượng tiêu thụ nhiên liệu, phát hiện và cảnh báo sớm các sự cố sẽ xảy ra.

MAN B&W 6H35DF là động cơ tiên tiến với thiết kế tối ưu và linh hoạt trong lựa chọn nhiên liệu, phù hợp cho các tàu vận tải cần công suất lớn và yêu cầu tiết kiệm nhiên liệu, bảo vệ môi trường.

3.2. Mô phỏng quá trình cháy của động cơ

Đối tượng trong nghiên cứu này là động cơ hàng hải nhiên liệu kép Hydrogen-Diesel bốn thì. Quá trình đốt cháy của động cơ được nghiên cứu và mô phỏng để phân tích ảnh hưởng của việc sử dụng khí hydrogen làm nhiên liệu chính đối với áp suất, nhiệt độ và đặc tính khí thải trong xi lanh của động cơ so với khi chỉ sử dụng dầu diesel.

Chế độ: Chế độ diesel và chế độ nhiên liệu kép. Ở chế độ diesel, động cơ chỉ sử dụng động cơ diesel như trong động cơ diesel thông thường. Trong khi đó, ở chế độ nhiên liệu kép, động cơ sử dụng Hydrogen làm nhiên liệu chính và diesel làm nhiên liệu thí điểm. Khi động cơ hoạt động ở chế độ nhiên liệu kép, Hydrogen sẽ được bơm vào cổng nạp thông qua van cấp khí để trộn với khí nạp tạo thành hỗn hợp trộn sẵn trước khi được cung cấp vào xi lanh động cơ, trong khi nhiên liệu thí điểm diesel sẽ được bơm trực tiếp vào xi lanh động cơ bằng một vòi phun nhiên liệu thí điểm gắn ở giữa nắp xi lanh động cơ.

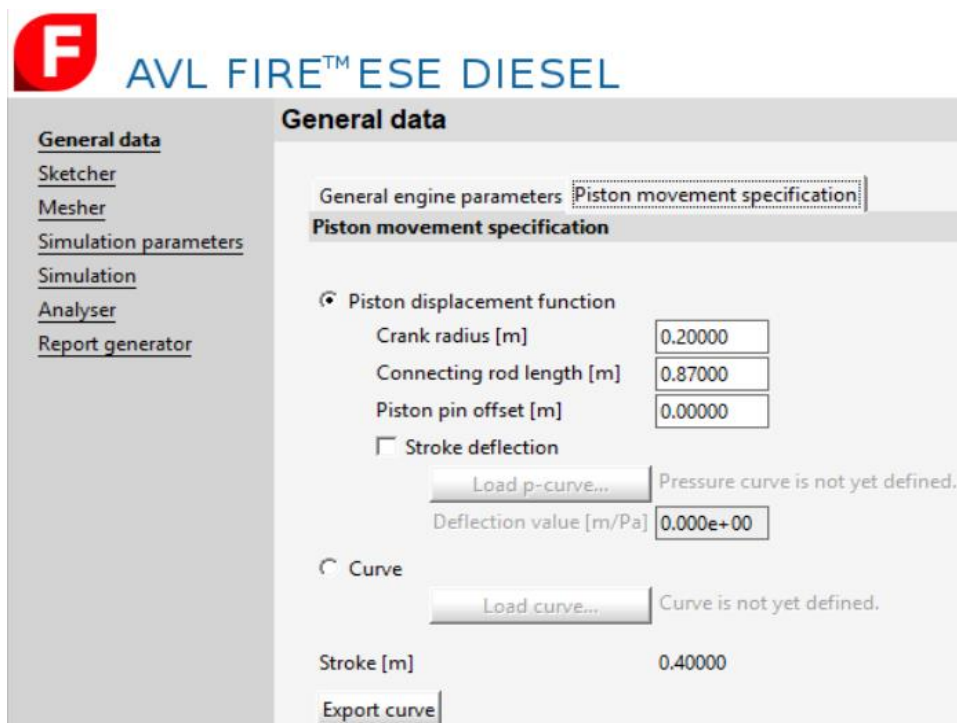


Hình 3.4 [4]: Sơ đồ nguyên tắc của động cơ mô phỏng.

Các mô hình 3D cắt một phần tư của piston và vòi phun nhiên liệu thí điểm được thể hiện trong Hình 3.9. Bề mặt piston là một hình dạng kiểu ω . Vòi phun nhiên liệu thí điểm có 12 lỗ giống hệt nhau với góc phun 155 độ. Thông số kỹ thuật của động cơ mô phỏng được thể hiện trong Bảng 3.1. Động cơ có sáu xi-lanh với hai van nạp và hai van xả trên mỗi xi-lanh. Đường kính xi lanh và hành trình piston của động cơ lần lượt là 350 và 400 mm.



Hình 3.5 [4]: Hình học 3D cắt một phần tư của piston và vòi phun nhiên liệu thí điểm.



Hình 3.6 Các thông số của piston

Bảng 3.1: Thông số kỹ thuật của động cơ mô phỏng

Thông số	Giá trị	Đơn vị
Loại động cơ	Động cơ hai nhiên liệu, 4 kỳ	
Tên động cơ	6H35DF	
Hệ thống cung cấp khí Hydrogen	Phun nhiên liệu khí qua cổng	
Số xi lanh	6	
Đường kính xi lanh	350	mm
Hành trình piston	400	mm
Tỷ số nén	13.5:1	
Chiều dài thanh truyền	870	mm
Tốc độ động cơ	720	vòng/phút
Công suất	2880 @ 720 vòng/phút	kW
Áp suất hiệu dụng trung bình (IMEP)	20	bar
Số kim phun sơ cấp	1	
Góc phun nhiên liệu	155	độ
Nhiên liệu khí	Khí thiên nhiên (NG)	
Giá trị nhiệt lượng thấp (LCV) của Hydrogen	120000 *	kJ/kg
Nhiên liệu môi	Dầu Diesel	
Giá trị nhiệt lượng thấp (LCV) của dầu Diesel	42343 *	kJ/kg

* Dữ liệu được cung cấp bởi cơ sở dữ liệu AVL FIRE.

3.2.1. Chia lưới

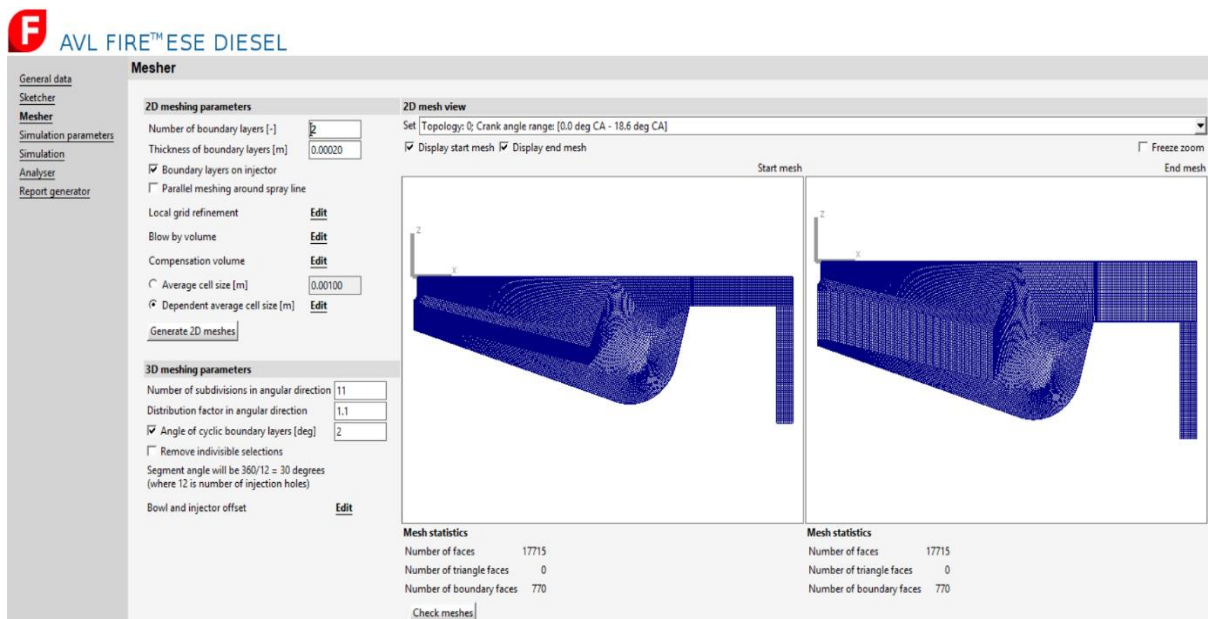
Trong nghiên cứu này, để tối ưu hóa được thời gian tính toán và giảm bớt độ phức tạp, chúng tôi đã sử dụng nền tảng Diesel AVL FIRE ESE, tập trung mô phỏng chu trình làm việc động cơ từ khi đóng van nạp đến khi mở van xả. Phần mềm AVL FIRE, với phiên bản R2018a và các mô hình tiên tiến, đã hỗ trợ xây dựng miền chất

lồng tính toán và thực hiện chia lưới ba chiều (3D) cho buồng đốt cùng vòi phun diesel thí điểm. Quá trình này giúp tính toán và phân tích các thông số quan trọng, bao gồm áp suất trong xi lanh, trường nhiệt độ, và các thành phần khí thải phát sinh.

AVL FIRE được đánh giá cao nhờ sự mô phỏng chính xác quá trình cháy và phát thải khí trong các loại động cơ xăng, diesel, và nhiên liệu kép. Nền tảng AVL FIRE ESE đã cung cấp nhiều giải pháp mô hình hóa, trong đó mô hình hóa toàn bộ chu trình động cơ là một trong những ưu điểm nổi bật. Tuy nhiên, nghiên cứu này cũng chỉ tập trung vào một phần của chu trình để đơn giản hóa vấn đề.

Đối với chế độ nhiên liệu kép, hydro nạp qua cổng nạp và hòa trộn với không khí, tạo thành hỗn hợp khí đồng nhất trước khi di chuyển vào xi lanh. Trong khi đó, nhiên liệu diesel, đóng vai trò làm nhiên liệu thí điểm, được phun trực tiếp vào xi lanh thông qua kim phun để kích hoạt quá trình cháy hỗn hợp khí vào cuối kỳ nén. Mô phỏng được thực hiện với mô hình đốt ECFM-3Z, đảm bảo khả năng tái hiện chính xác các phản ứng cháy và tương tác giữa các thành phần nhiên liệu.

Kết quả cuối cùng được phân tích thông qua các công cụ sau xử lý, cung cấp dữ liệu chi tiết về hiệu suất hoạt động của động cơ và mức độ phát thải trong các điều kiện vận hành khác nhau. Phương pháp này cho phép đánh giá một cách chính xác hiệu quả sử dụng nhiên liệu kép, đồng thời đề xuất các cải tiến trong thiết kế và vận hành động cơ.



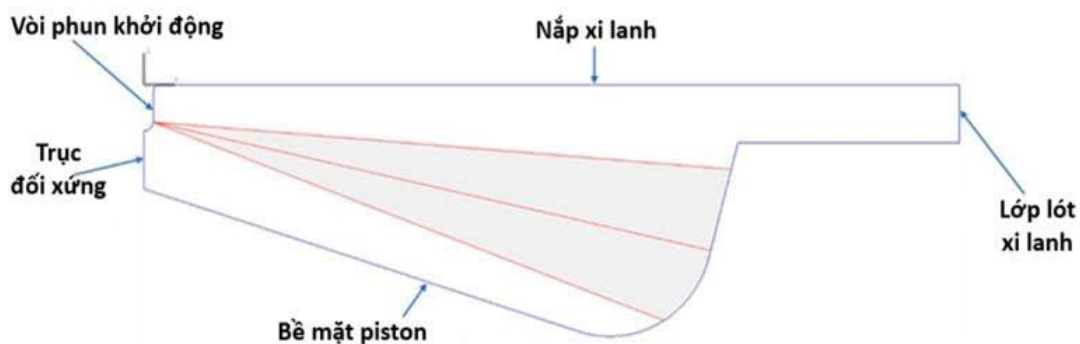
Hình 3.7: Các thông số chia lưới

3.2.2. Xác định điều kiện biên và điều kiện ban đầu

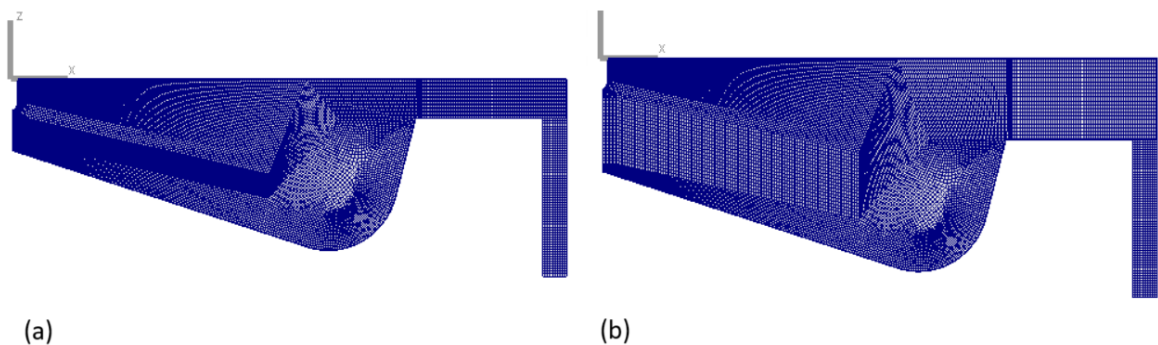
Để tối ưu hóa thời gian tính toán trong quá trình mô phỏng, chỉ cần một phần nhỏ của lưới tính toán ba chiều (3D) của buồng đốt được sử dụng. Cụ thể, buồng đốt của động cơ có tính đối xứng dọc trục, và vòi phun nhiên liệu được thiết kế với 12 lỗ phun giống hệt nhau. Do đó, chỉ một phần mười hai của toàn bộ lưới tính toán được xây dựng dựa trên nền tảng AVL FIRE ESE-Diesel.

Hình 3.8 minh họa phần lưới tính toán 3D tại hai thời điểm khác nhau: tại điểm chết trên (TDC) (hình a) và tại góc quay 18,6 độ sau điểm chết trên (ATDC) (hình b). Trước đó, Hình 3.9 thể hiện một nửa cấu trúc đối xứng của buồng đốt động cơ, cho thấy sự đơn giản hóa hình học trong mô phỏng.

Bằng cách sử dụng phần nhỏ lưới tính toán, quá trình mô phỏng vẫn được đảm bảo độ chính xác nhờ tính đồng nhất của dòng chảy và quá trình cháy trong buồng đốt. Cách tiếp cận này giúp giảm thiểu khối lượng tính toán cần thiết, đồng thời cho phép phân tích quá trình cháy chi tiết và hình thành khí thải một cách hiệu quả.



Hình 3.8: Một nửa hình học buồng đốt đối xứng.



Hình 3.9: Một phần mười hai của toàn bộ lưới tính toán 3D của buồng đốt tại TDC (a) và 18,6 CAD ATDC (b).

Bảng 3.2: Điều kiện biên và điều kiện ban đầu cho các trường hợp mô phỏng số

Điều kiện biên	
Điều kiện biên	Loại biên/Điều kiện cụ thể
Nắp xi lanh	Tường/Nhiệt độ/570.15 K
Piston	Chuyển động lưới/Nhiệt độ/570.15 K
Lót xi lanh	Tường/Nhiệt độ/470.15 K
Cắt đoạn	Chu kỳ/Đầu vào/Đầu ra
Điều kiện ban đầu	
Điều kiện ban đầu	Giá trị
Áp suất tại IVC	3.5 bar
Nhiệt độ tại IVC	320.5 K
IVC	35 CAD ABDC
EVO	62 CAD BBDC
S.O.I	12 CAD BTDC
Thời gian phun nhiên liệu Diesel	15 CAD ở chế độ hai nhiên liệu 32 CAD ở chế độ Diesel

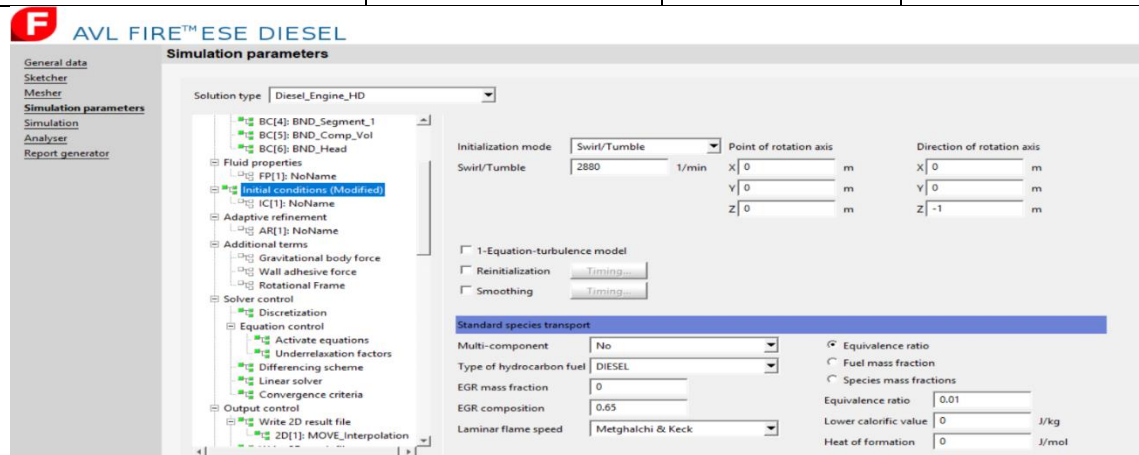
3.2.3. Thiết lập mô hình vật lý

Trong nghiên cứu này, các quá trình đốt cháy của động cơ chạy ở hai chế độ hoạt động khi đầy tải đã được mô phỏng, bao gồm quá trình đốt cháy của động cơ khi chỉ hoạt động bằng dầu diesel ở chế độ diesel và hoạt động với Hydrogen ở chế độ nhiên liệu kép. Ở chế độ diesel, động cơ chỉ sử dụng dầu diesel. Ở chế độ nhiên liệu kép, động cơ sử dụng H và dầu diesel làm nhiên liệu. Tất cả các điều kiện mô phỏng khác được giữ nguyên. Xét 4 trường hợp trong mô phỏng khi động cơ chạy với dầu diesel, 10% hydrogen, 20% hydrogen, 30% hydrogen. Các tính chất cơ bản của nhiên liệu được thể hiện trong Bảng 3.3.

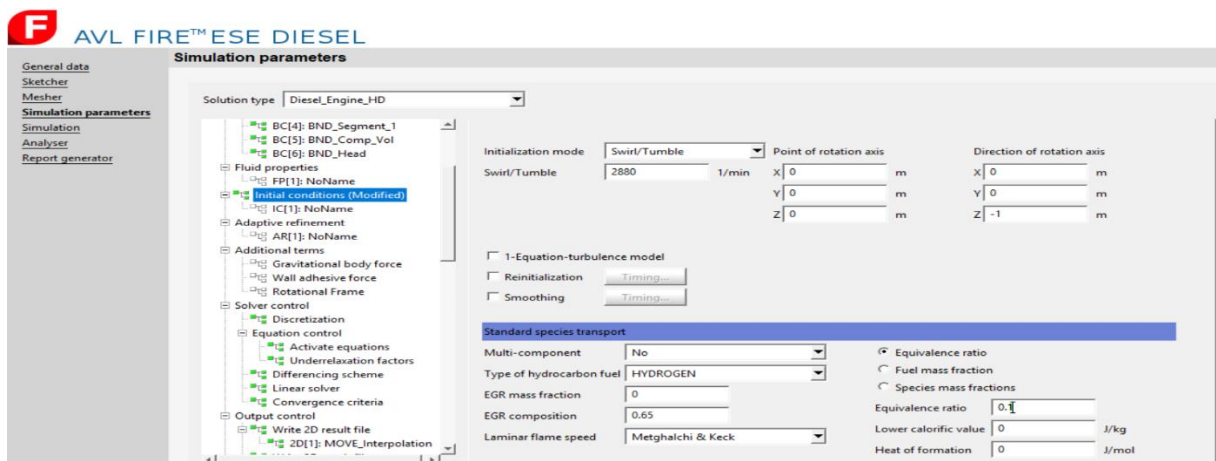
Bảng 3.3: Các đặc tính cơ bản của nhiên liệu Diesel và Hydro

Nhiên liệu	Diesel	Hydro	Đơn vị
Khối lượng riêng	680	0.0899	kg/m ³ @ 25 °C, 1 atm
Tên/Hợp chất hóa học	n-Heptane/C ₇ H ₁₆	Hydrogen/H ₂	

Giá trị nhiệt trị thấp	42,343	120,000	kJ/kg
Khối lượng phân tử	100.205	2.016	g/mol
Nhiệt độ sôi	98.38	-253	°C
Nhiệt độ tự cháy	223	560	°C
Nhiệt dung riêng (Cp)	224.64	14.32	J/mol·K @ 25 °C
Tỉ lệ không khí-nhiên liệu lý tưởng	15.2	34.3	kg/kg



Hình 3.10: Thiết lập quá trình mô phỏng cho diesel



Hình 3.11: Thiết lập quá trình mô phỏng cho hydrogen

3.2.4. Chạy mô phỏng

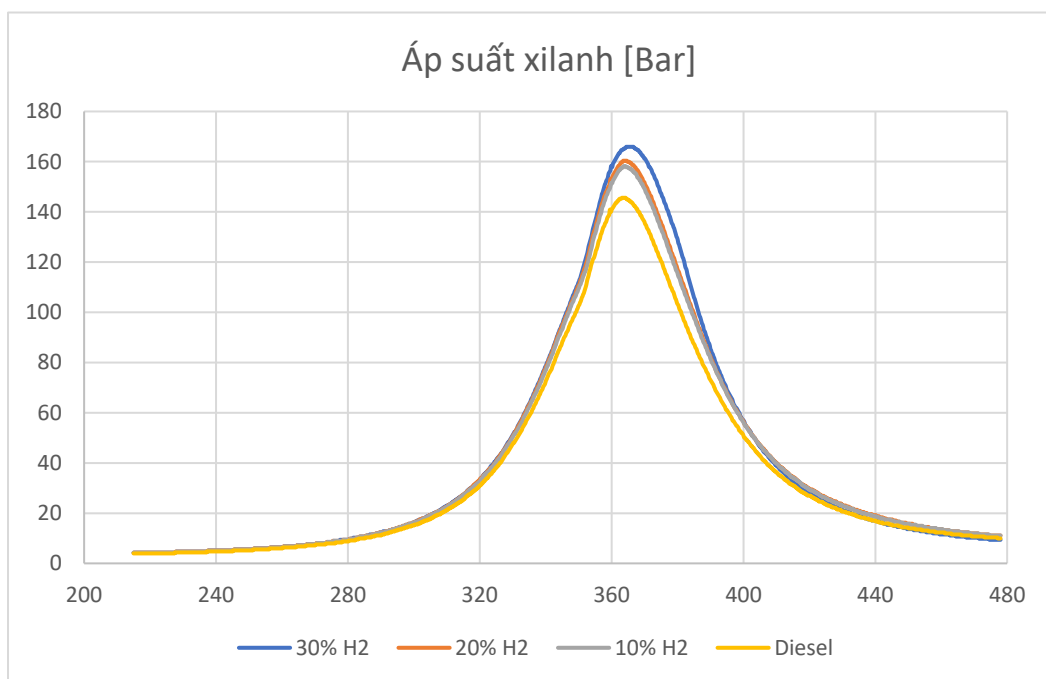
Quá trình mô phỏng được bắt đầu với việc khởi tạo các điều kiện ban đầu như nhiệt độ, áp suất, và tỷ lệ hòa trộn nhiên liệu Hydrogen. Piston di chuyển theo chu trình nạp,

nén, cháy và xả, trong khi các mô hình dòng chảy rời và quá trình cháy được áp dụng để mô phỏng sự lan tỏa và đốt cháy nhiên liệu. Các thông số như áp suất đỉnh trong xi-lanh, nhiệt độ buồng cháy và mức phát thải khí NO_x, CO₂ được theo dõi liên tục trong suốt quá trình mô phỏng. Dữ liệu thu được sẽ được phân tích và so sánh với kết quả thử nghiệm thực tế để đánh giá độ chính xác của mô hình.

3.3.Kết quả mô phỏng

Để minh họa rõ sự ảnh hưởng của Hydrogen đối với quá trình đốt cháy và khí thải bên trong xi lanh động cơ, tất cả các điều kiện ranh giới và điều kiện làm việc của động cơ đều không thay đổi, ngoại trừ sự khác biệt về nhiên liệu sử dụng, đó chỉ là diesel ở chế độ diesel và H₂-diesel ở chế độ nhiên liệu kép. Trong phần này, áp suất trong xi lanh, nhiệt độ và khí thải trong tất cả các trường hợp mô phỏng cũng được trình bày và phân tích.

3.3.1. Áp suất trong xi lanh

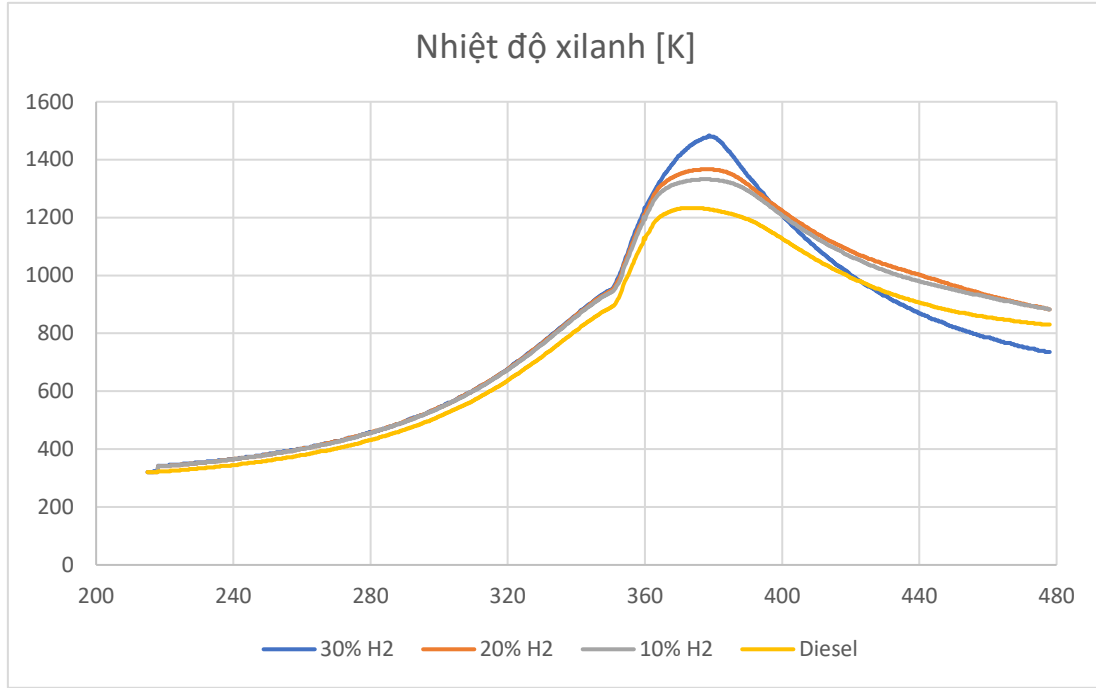


Hình 3.12: Áp suất trong xi lanh

Việc pha trộn hydrogen vào nhiên liệu diesel làm thay đổi đáng kể áp suất trong xi-lanh. Với nhiên liệu diesel nguyên chất, áp suất cực đại chỉ đạt khoảng 145 bar, phản ánh quá trình cháy diễn ra ở mức ổn định nhưng chưa thực sự hiệu quả. Khi bổ sung 10% hydrogen, áp suất đỉnh tăng lên khoảng 150 bar và xuất hiện sớm hơn, cho thấy sự cải thiện trong hiệu suất cháy. Tăng tỷ lệ hydrogen lên 20% tiếp tục đẩy áp suất cực đại lên khoảng 155 bar, giúp quá trình đốt cháy diễn ra mạnh mẽ hơn. Đặc biệt, với tỷ lệ 30% hydrogen, áp suất đỉnh đạt khoảng 165 bar, cao nhất trong các trường hợp trên,

quá trình cháy diễn ra nhanh và mạnh nhất. Tuy nhiên, áp suất quá cao cũng tiềm ẩn nguy cơ gây hư hại cho động cơ nếu không được kiểm soát tốt. Tóm lại, việc tăng dần tỷ lệ hydrogen giúp nâng cao áp suất xi-lanh và tối ưu hiệu suất đốt cháy, song cần chú ý, điều chỉnh hợp lý để đảm bảo an toàn vận hành và độ bền của động cơ.

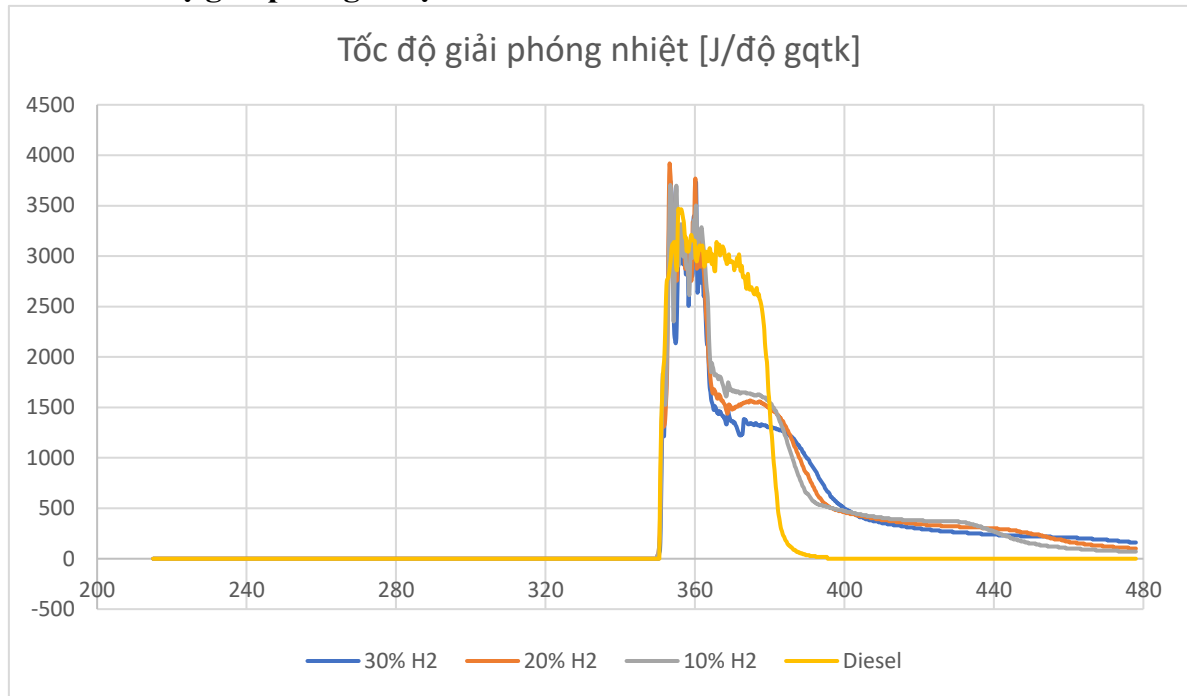
3.3.2. Nhiệt trong xi lanh



Hình 3.13: nhiệt trong xi lanh

Bổ sung hydrogen vào nhiên liệu diesel đã tác động rõ rệt đến nhiệt độ trong xi-lanh. Khi sử dụng nhiên liệu diesel thuần túy, nhiệt độ cực đại trong xi-lanh đạt mức thấp nhất, khoảng 1250 K, cho thấy quá trình cháy diễn ra ổn định nhưng chưa tối ưu về hiệu suất đốt cháy. Khi thêm 10% hydrogen vào diesel, nhiệt độ đỉnh tăng nhẹ lên khoảng 1300 K và xuất hiện sớm hơn, cho thấy sự cải thiện trong quá trình cháy. Với 20% hydrogen, nhiệt độ cực đại tiếp tục tăng lên khoảng 1350 K, quá trình cháy diễn ra mạnh mẽ hơn và hiệu quả đốt cháy được nâng cao. Đặc biệt, khi tỷ lệ hydrogen tăng lên 30%, nhiệt độ cực đại đạt khoảng 1450 K, cao nhất trong các trường hợp, đồng thời quá trình cháy diễn ra mạnh nhất. Tuy nhiên, mức nhiệt độ này cũng làm tăng nguy cơ quá nhiệt, ảnh hưởng đến tuổi thọ và độ bền của động cơ. Tóm lại, tỷ lệ hydrogen càng cao thì nhiệt độ buồng đốt cao làm tăng cao phát thải NO nhiệt càng lớn, giúp cải thiện hiệu suất đốt cháy nhưng cần được kiểm soát hợp lý để đảm bảo an toàn vận hành.

3.3.3. Tốc độ giải phóng nhiệt



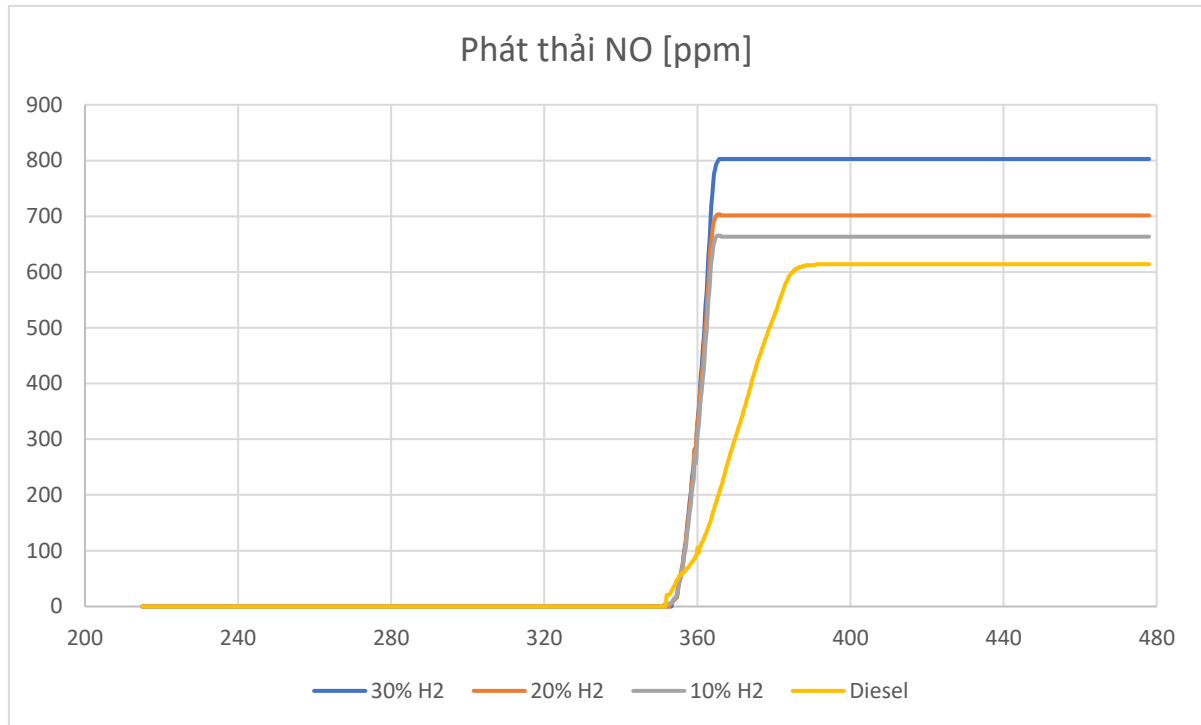
Hình 3.14: Tốc độ giải phóng nhiệt

Biểu đồ trên cho thấy sự thay đổi tốc độ giải phóng nhiệt trong xi-lanh khi sử dụng các tỷ lệ hydrogen khác nhau kết hợp với diesel. Đối với nhiên liệu diesel thuần túy, tốc độ giải phóng nhiệt đạt giá trị cực đại lớn nhất và tăng đột ngột, sau đó giảm nhanh chóng. Điều này phản ánh quá trình cháy diễn ra mạnh mẽ nhưng thiếu kiểm soát, dễ gây ra hiện tượng gõ máy.

Khi thêm 10% hydrogen, tốc độ giải phóng nhiệt giảm so với diesel và phân bố đều hơn, cho thấy quá trình cháy diễn ra nhẹ nhàng và ổn định hơn. Tăng tỷ lệ hydrogen lên 20% tiếp tục làm giảm tốc độ giải phóng nhiệt, giúp quá trình đốt cháy trở nên ổn định hơn và hạn chế nguy cơ cháy nổ sớm. Đặc biệt, với 30% hydrogen, tốc độ giải phóng nhiệt thấp nhất trong các trường hợp và diễn ra từ từ hơn, điều này cho thấy quá trình cháy được kiểm soát tốt và hiệu quả hơn.

Tóm lại, việc bổ sung hydrogen vào nhiên liệu diesel giúp làm giảm tốc độ giải phóng nhiệt, cải thiện sự ổn định của quá trình đốt cháy và giảm nguy cơ xảy ra các hiện tượng nguy hiểm trong động cơ.

3.3.4. Phát thải NO



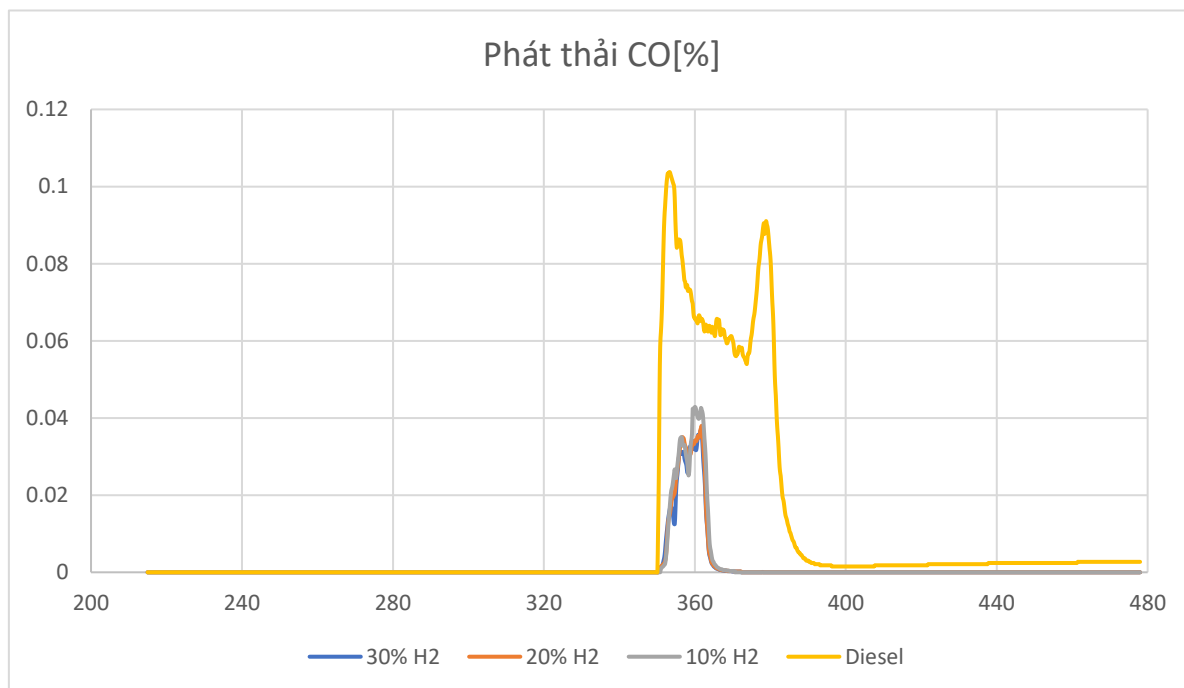
Hình 3.15: Phát thải NO

Biểu đồ thể hiện mức phát thải NO (Nitric Oxide) của động cơ khi sử dụng các tỷ lệ nhiên liệu hydrogen khác nhau kết hợp với diesel. Với nhiên liệu diesel nguyên chất, lượng phát thải NO đạt khoảng 600 ppm, mức thấp nhất trong các trường hợp được xét. Điều này phản ánh quá trình cháy diễn ra ở nhiệt độ vừa phải, hạn chế hình thành NO.

Khi bổ sung 10% hydrogen, phát thải NO tăng lên khoảng 650 ppm, do nhiệt độ buồng cháy cao hơn thúc đẩy quá trình hình thành NOx. Tăng tỷ lệ hydrogen lên 20% khiến lượng NO phát thải tiếp tục tăng lên khoảng 700 ppm. Đặc biệt, với tỷ lệ 30% hydrogen, phát thải NO đạt mức cao nhất, khoảng 800 ppm, do nhiệt độ buồng cháy tăng mạnh làm gia tăng quá trình oxy hóa nitơ.

Nhìn chung, tỷ lệ hydrogen càng cao thì phát thải NO càng lớn. Đây là hệ quả của việc nhiệt độ buồng cháy tăng cao khi hydrogen được bổ sung vào nhiên liệu. Để kiểm soát lượng NOx sinh ra, cần cân nhắc các giải pháp như điều chỉnh tỷ lệ hydrogen phù hợp hoặc áp dụng công nghệ tuần hoàn khí xả (EGR) và hệ thống xử lý khí thải.

3.3.5. Phát thải CO



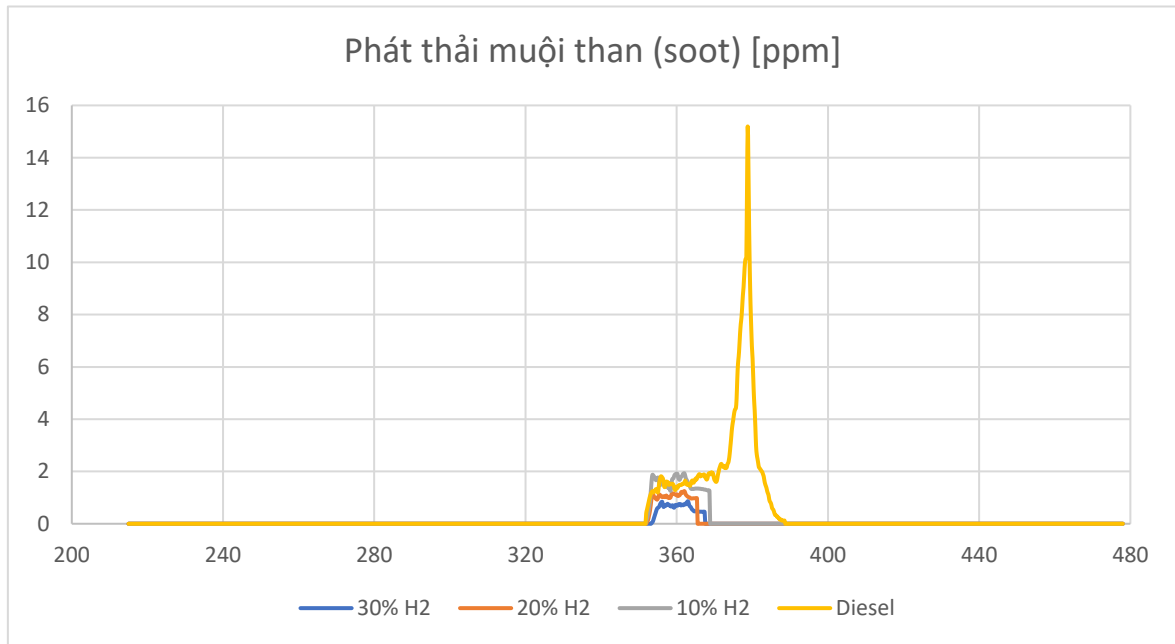
Hình 3.16: Phát thải CO

Biểu đồ trên cho thấy mức phát thải CO (Carbon Monoxide) khi động cơ sử dụng các tỷ lệ nhiên liệu hydrogen khác nhau so với diesel nguyên chất. Với diesel thuần túy, lượng phát thải CO đạt đỉnh cao nhất, khoảng 0.1%, cho thấy quá trình cháy không hoàn toàn, dẫn đến khí CO sinh ra nhiều.

Khi thêm 10% hydrogen, lượng CO giảm mạnh xuống khoảng 0.035%, phản ánh quá trình đốt cháy diễn ra hiệu quả hơn nhờ hydrogen hỗ trợ cháy hoàn toàn hơn. Tăng tỷ lệ hydrogen lên 20% tiếp tục làm giảm lượng CO xuống khoảng 0.025%. Đặc biệt, với tỷ lệ 30% hydrogen, phát thải CO gần như chạm mức thấp nhất, khoảng 0.02%, cho thấy quá trình cháy diễn ra gần như hoàn toàn.

Nhìn chung, việc tăng tỷ lệ hydrogen trong hỗn hợp nhiên liệu giúp giảm đáng kể phát thải CO. Điều này là nhờ hydrogen giúp nâng cao hiệu suất đốt cháy, hạn chế hiện tượng thiếu oxy trong buồng cháy và làm giảm lượng khí CO hình thành.

3.3.6. Phát thải muội than



Hình 3.17: Phát thải muội than

Biểu đồ trên thể hiện mức phát thải muội than (soot) khi động cơ sử dụng các tỷ lệ nhiên liệu hydrogen khác nhau kết hợp với diesel. Với nhiên liệu diesel nguyên chất, lượng phát thải muội than đạt đỉnh rất cao, khoảng 16 ppm vào thời điểm gần 360 giây, cho thấy quá trình cháy không hoàn toàn dẫn đến sự hình thành nhiều muội than. Khi bổ sung 10% hydrogen, lượng muội than phát thải giảm mạnh, chỉ còn khoảng 1 ppm, phản ánh quá trình cháy hiệu quả hơn và ít muội than hơn. Tăng tỷ lệ hydrogen lên 20% giúp giảm lượng muội than thêm một chút, với mức phát thải thấp và ổn định. Đặc biệt, khi tỷ lệ hydrogen đạt 30%, phát thải muội than giảm gần như hoàn toàn, cho thấy quá trình cháy diễn ra gần như hoàn hảo và không tạo ra muội than. Nhìn chung, việc bổ sung hydrogen vào nhiên liệu diesel giúp giảm đáng kể phát thải muội than, cải thiện hiệu quả cháy và giảm ô nhiễm môi trường.

3.4. Kết Luận

Như vậy, Việc bổ sung hydrogen vào nhiên liệu diesel đã mang lại những cải thiện rõ rệt về hiệu suất đốt cháy và phát thải khí thải của động cơ. Khi tăng tỷ lệ hydrogen từ 10% đến 30%, áp suất cực đại và nhiệt độ buồng cháy tăng lên đáng kể, giúp quá trình đốt cháy diễn ra mạnh mẽ và hiệu quả hơn. Tốc độ giải phóng nhiệt trở nên ổn định hơn, hạn chế hiện tượng gõ máy và giảm các biến động áp suất đột ngột trong xi-lanh.

Đáng chú ý, phát thải CO giảm mạnh nhờ quá trình cháy hoàn toàn hơn khi bổ sung hydrogen. Tuy nhiên, phát thải NO lại tăng lên rõ rệt do nhiệt độ buồng cháy

cao, đặc biệt ở tỷ lệ 30% hydrogen, đòi hỏi áp dụng các biện pháp kiểm soát khí thải như EGR hoặc SCR.

Tóm lại, bổ sung hydrogen giúp tăng hiệu suất động cơ và giảm phát thải CO, nhưng cần kiểm soát chặt chẽ để hạn chế NO_x và đảm bảo độ bền động cơ. Tỷ lệ hydrogen tối ưu được khuyến nghị ở mức 20% - 30%, kết hợp với công nghệ xử lý khí thải để đạt hiệu quả tối ưu.

TÓM TẮT CHƯƠNG 3

Nghiên cứu mô phỏng quá trình cháy của động cơ MAN B&W 6H35DF đã làm rõ tác động của việc bổ sung hydrogen vào nhiên liệu diesel đối với hiệu suất vận hành và mức phát thải khí thải của động cơ. Đây là loại động cơ diesel đa nhiên liệu hai kỳ, sáu xi-lanh, có khả năng vận hành linh hoạt giữa dầu diesel và khí tự nhiên hóa lỏng, phù hợp cho các tàu biển yêu cầu công suất lớn, hiệu suất cao và tuân thủ các tiêu chuẩn môi trường quốc tế. Việc kết hợp nhiên liệu hydrogen với diesel được tiến hành ở các tỷ lệ 10%, 20% và 30%, với mục đích đánh giá sự thay đổi về áp suất, nhiệt độ buồng cháy, tốc độ giải phóng nhiệt và mức phát thải khí độc hại.

Kết quả mô phỏng cho thấy, khi tăng tỷ lệ hydrogen, áp suất cực đại trong xi-lanh tăng từ 145 bar (diesel thuần túy) lên đến 165 bar (30% hydrogen), đồng thời nhiệt độ buồng cháy tăng từ 1250 K lên 1450 K. Sự gia tăng này giúp quá trình đốt cháy diễn ra mạnh mẽ và hiệu quả hơn, nâng cao hiệu suất hoạt động của động cơ. Tốc độ giải phóng nhiệt cũng được cải thiện, dần trở nên ổn định hơn, hạn chế hiện tượng gõ máy và giảm các biến động áp suất đột ngột. Đặc biệt, phát thải CO giảm mạnh từ 0.1% xuống còn 0.02% khi tăng tỷ lệ hydrogen, phản ánh quá trình cháy diễn ra hoàn toàn hơn nhờ hydrogen hỗ trợ quá trình đốt cháy. Tuy nhiên, việc tăng tỷ lệ hydrogen cũng làm tăng lượng phát thải NO từ 600 ppm lên 800 ppm do nhiệt độ buồng cháy cao, điều này có thể ảnh hưởng tiêu cực đến môi trường và đòi hỏi áp dụng các giải pháp kiểm soát khí thải như hệ thống tuần hoàn khí xả (EGR) hoặc bộ xử lý khí thải SCR.

Bên cạnh đó, mô hình động cơ được thiết kế với hệ thống phun nhiên liệu kép linh hoạt, hệ thống làm mát bằng nước biển, hệ thống bôi trơn cưỡng bức và khung động cơ chắc chắn, giúp đảm bảo vận hành bền bỉ và giảm thiểu chi phí bảo trì. Việc tối ưu hóa tỷ lệ hydrogen ở mức 20%-30% kết hợp với công nghệ xử lý khí thải không chỉ giúp tăng hiệu suất động cơ mà còn giảm thiểu đáng kể khí thải tác động môi trường. Điều này khẳng định tiềm năng ứng dụng của nhiên liệu hydrogen trong ngành hàng hải, góp phần hướng tới mục tiêu phát triển bền vững và thân thiện với môi trường.

Chương 4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

4.1 Kết luận

- Hiệu suất động cơ với nhiên liệu kép hydrogen-diesel:

+ Cải thiện áp suất đỉnh trong xi-lanh:

○ Việc bổ sung hydrogen làm nhiên liệu đã làm cải thiện đáng kể áp suất đỉnh trong xi-lanh, từ 145 bar (diesel) lên 165 bar (30% hydrogen). Áp suất tăng cao giúp cho động cơ sinh công hiệu quả hơn, tăng cường khả năng vận hành và giảm tiêu hao nhiên liệu.

○ Tuy nhiên, áp suất tăng đồng thời làm gia tăng ứng suất lên các bộ phận của động cơ như xi-lanh, piston và hệ thống truyền động. Điều này đòi hỏi các cải tiến thiết kế vật liệu và công nghệ chế tạo để đảm bảo an toàn và tuổi thọ cho động cơ trong điều kiện vận hành khắc nghiệt.

+ Gia tăng nhiệt độ buồng cháy:

○ Nhiệt độ buồng cháy tăng từ 1250 K (diesel) lên đến 1450 K (30% hydrogen), cho thấy hydrogen hỗ trợ tối ưu hóa quá trình đốt cháy do khả năng bắt cháy nhanh và giá trị nhiệt trị cao. Điều này làm tăng hiệu suất nhiệt và giảm thiểu lượng nhiên liệu cần thiết cho cùng một mức công suất.

○ Tuy nhiên, nhiệt độ cao hơn có thể dẫn đến quá nhiệt và làm giảm độ bền các chi tiết chịu nhiệt như xi-lanh, vòng piston, và van xả. Hệ thống làm mát và vật liệu chịu nhiệt cần được nâng cấp để đáp ứng yêu cầu này.

+ Ổn định tốc độ giải phóng nhiệt:

○ Việc bổ sung hydrogen giúp giảm tốc độ giải phóng nhiệt, quá trình cháy trở nên ổn định hơn. Điều này hạn chế hiện tượng tiêu cực như gõ máy, dao động áp suất đột ngột, từ đó tăng độ an toàn và độ tin cậy động cơ.

○ Với diesel thuần túy, tốc độ giải phóng nhiệt cao hơn nhưng diễn ra đột ngột, gây lên áp lực lớn lên các bộ phận động cơ. Ngược lại, khi sử dụng hydrogen, tốc độ giải phóng nhiệt phân bố đều hơn, giảm tác động cơ học và nhiệt lên động cơ.

- Phát thải khí thải và tác động đến môi trường:

+ Giảm đáng kể phát thải CO:

○ Lượng CO phát thải giảm từ 0.1% (diesel) xuống 0.02% (30% hydrogen). Điều này nhận thấy hydrogen hỗ trợ quá trình cháy hoàn toàn hơn, giảm hiện tượng dư thừa carbon do không cháy hết.

○ Việc giảm phát thải CO không chỉ cải thiện chất lượng không khí mà còn giúp giảm bệnh lý liên quan đến hệ hô hấp và tim mạch, đặc biệt ở các khu vực đông dân cư và gần cảng biển.

+ Giảm phát thải muội than:

○ Hydrogen, không chứa carbon, không tạo ra muội than khi cháy. Việc sử dụng hydrogen giúp giảm mạnh phát thải hạt PM (Particulate Matter), góp phần bảo vệ sức khỏe con người và giảm ô nhiễm môi trường.

○ Phát thải muội than từ diesel là nguyên nhân chính gây ô nhiễm không khí tại các vùng đô thị và vùng công nghiệp. Hydrogen mang lại tiềm năng loại bỏ gần như nguồn ô nhiễm này.

+ Tăng phát thải NOx:

○ Do nhiệt độ buồng cháy cao hơn khi bổ sung hydrogen, phát thải NOx tăng từ 600 ppm (diesel) lên 800 ppm (30% hydrogen). Điều này gây lo ngại lớn về tác động đến môi trường, đặc biệt là các vấn đề liên quan đến thủng tầng ozone và ảnh hưởng sức khỏe với con người.

○ Việc gia tăng phát thải NOx đòi hỏi tích hợp các công nghệ kiểm soát khí thải tiên tiến, như tuần hoàn khí xả (EGR) hoặc hệ thống giảm xúc tác chọn lọc (SCR), để giảm thiểu tác động tiêu cực.

- Tiềm năng ứng dụng nhiên liệu hydrogen:

+ Hiệu quả kinh tế và môi trường:

○ Việc sử dụng hydrogen làm nhiên liệu giúp cải thiện hiệu suất động cơ và giảm chi phí vận hành dài hạn nhờ tiết kiệm nhiên liệu và giảm thiểu chi phí xử lý khí thải.

○ Hydrogen là một giải pháp tiềm năng để giảm phát thải khí nhà kính, đặc biệt trong ngành giao thông vận tải và công nghiệp nặng, nơi động cơ diesel vẫn còn đóng vai trò chủ đạo.

+ Ứng dụng thực tiễn trong các lĩnh vực:

○ Trong ngành hàng hải, động cơ sử dụng nhiên liệu kép hydrogen-diesel có thể giảm đáng kể tác động môi trường từ hoạt động tàu biển, một nguồn phát thải lớn CO₂ và NOx.

○ Trong giao thông đường bộ, hydrogen có thể thay thế diesel ở các loại xe tải và xe buýt, giúp giảm phát thải và tăng cao hiệu quả vận hành trong các khu vực

đô thị.

- Hạn chế và thách thức:

+ Công nghệ xử lý khí thải:

○ Phát thải NO_x cao khi sử dụng hydrogen đòi hỏi nghiên cứu và áp dụng công nghệ xử lý khí thải tiên tiến như EGR, SCR. Điều này có thể làm tăng chi phí đầu tư ban đầu và yêu cầu bảo trì thường xuyên và khó khăn hơn.

+ Lưu trữ và vận chuyển hydrogen:

○ Hydrogen là một loại nhiên liệu khó lưu trữ và vận chuyển do yêu cầu về áp suất cao hoặc nhiệt độ cực thấp, điều này đòi hỏi sự đầu tư lớn vào cơ sở hạ tầng.

+ Chi phí sản xuất hydrogen:

○ Hiện nay, phần lớn hydrogen được sản xuất từ nhiên liệu hóa thạch, điều này không chỉ gây tổn kém mà còn phát thải CO₂ gây ô nhiễm. Việc sản xuất hydrogen từ năng lượng tái tạo cần được thúc đẩy để đảm bảo bền vững.

+ Thiết kế động cơ và vật liệu:

○ Động cơ cần được thiết kế lại để chịu được nhiệt độ và áp suất cao hơn, đồng thời vẫn đảm bảo tuổi thọ lâu dài. Vật liệu chịu nhiệt và chịu áp suất cần được nghiên cứu và áp dụng rộng rãi.

4.2 Kiến nghị

- Về nghiên cứu và phát triển:

+ Tối ưu hóa tỷ lệ hydrogen:

○ Nghiên cứu sâu hơn về tỷ lệ pha trộn hydrogen-diesel, đặc biệt là tỷ lệ tối ưu 20%-30% để đạt được hiệu suất cao nhất với mức phát thải tối thiểu.

+ Công nghệ kiểm soát khí thải:

○ Phát triển các hệ thống xử lý NO_x hiệu quả hơn như EGR hoặc SCR thế hệ mới để đáp ứng được các tiêu chuẩn khí thải nghiêm ngặt mà không làm giảm hiệu suất động cơ.

+ Công nghệ lưu trữ hydrogen:

○ Nghiên cứu và phát triển các công nghệ lưu trữ hydrogen tiên tiến, Như hợp chất hydride kim loại hoặc vật liệu hấp thụ khí hydrogen, để giảm chi phí và cải thiện an toàn.

- Về ứng dụng thực tiễn:

+ Thử nghiệm trên quy mô lớn:

- Triển khai các dự án thí điểm sử dụng động cơ dùng nhiên liệu kép trên các phương tiện giao thông lớn như tàu biển, xe tải, xe buýt, và các thiết bị công nghiệp hạng nặng để đánh giá về hiệu quả và tính khả thi.

- + Hạ tầng tiếp nhiên liệu hydrogen:

- Đầu tư vào xây dựng nhiều hệ thống trạm tiếp nhiên liệu hydrogen ở các khu vực chiến lược như cảng biển, khu công nghiệp, và trục giao thông chính.

- Về chính sách và hỗ trợ:

- + Khuyến khích đầu tư:

- Chính phủ cần hỗ trợ về tài chính, miễn giảm thuế hoặc trợ giá cho các doanh nghiệp phát triển và áp dụng công nghệ động cơ nhiên liệu kép.

- + Thúc đẩy năng lượng tái tạo:

- Tăng cường sản xuất hydrogen từ các năng lượng tái tạo như điện gió, điện mặt trời để giảm chi phí sản xuất và đảm bảo tính bền vững.

- + Xây dựng tiêu chuẩn an toàn:

- Ban hành các tiêu chuẩn kỹ thuật và quy định an toàn cho lưu trữ, vận chuyển, và sử dụng hydrogen.

- Hợp tác quốc tế:

- + Chuyển giao công nghệ:

- Hợp tác với các quốc gia tiên tiến trong ngành lĩnh vực công nghệ hydrogen để học hỏi kinh nghiệm và tiếp cận nguồn lực.

- + Dự án hợp tác toàn cầu:

- Tham gia các sáng kiến quốc tế về năng lượng sạch, đặc biệt trong nghiên cứu và triển khai hydrogen.

- Lộ trình triển khai:

- + Ngắn hạn (0-5 năm):

- Tập trung nghiên cứu, thử nghiệm, và xây dựng các trạm tiếp nhiên liệu hydrogen cơ bản.

- + Trung hạn (5-10 năm):

- Ứng dụng động cơ nhiên liệu kép trên quy mô lớn, đặc biệt trong ngành hàng hải và vận tải.

- + Dài hạn (10-20 năm):

- Đưa hydrogen thành nhiên liệu phổ biến, giảm phụ thuộc vào nhiên liệu hóa thạch và đạt được mục tiêu phát triển bền vững.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Admin, “Tìm hiểu về các tiêu chuẩn khí thải dành cho động cơ,” 10 2021. [Trực tuyến]. Available: <https://baoduongxe.com.vn/tim-hieu-ve-cac-tieu-chuan-khi-thai-danh-cho-dong-co>.
- [2] Vanphong, “Giải pháp khắc phục ô nhiễm khí thải từ phương tiện xe cơ giới,” 14 8 2023. [Trực tuyến]. Available: <https://dangcongsan.vn/xay-dung-xa-hoi-an-toan-truoc-thien-tai/giai-phap-khac-phuc-o-nhiem-khi-thai-tu-phuong-tien-xe-co-gioi-644143.html>.
- [3] N. D. Tiến, Nguyên lý động cơ đốt trong, Hà Nội: Nhà Xuất bản giao thông vận tải, 2007.
- [4] B.-S. R. J.-H. C. J.-S. K. Van Chien Pham, “A Numerical Study on the Combustion Process and Emission Characteristics of a Natural Gas-Diesel Dual-Fuel Marine Engine at Full Load,” ResearchGate, 2021.
- [5] G. S. Sharma S, Hydrogen the future transportation fuel From production to applications. Renew. Sustain. Energy Rev., 2015.
- [6] L. H. L. C. L. S. S. T. W. S. atts T., “An experimental investigation of H₂ emissions of a 2004 heavy-duty diesel engine supplemented with H₂. Int. J. Hydrogen Energy,” 2010.